

GSJ 地質ニュース

GSJ CHISHITSU NEWS

— 地球をよく知り、地球と共生する —

2016

1

Vol. 5 No.1



1月号

口絵 1-6

茨城県常総市における平成 27 年 9 月関東・東北豪雨により発生した洪水堆積物の調査

佐藤善輝・宮地良典・田辺 晋・小松原純子・納谷友規

7-8

年頭のご挨拶

佃 栄吉

9-20

絶対重力計測の現場から — 神岡編 — 杉原光彦

21-26

野付半島ネイチャークラブ主催

“オンネニクルの森を歩こう” 実施報告

渡辺和明・重野聖之・石渡一人・七山 太

27-30

2015 年産総研一般公開チャレンジコーナー 「地盤の揺れるようすを目の前で見よう！」

内出崇彦・武田直人・長 郁夫・松原正樹・今西和俊・
白濱吉起・落 唯史・木口 努

31 新刊紹介

「時を刻む湖 7万枚の地層に挑んだ科学者たち」

33 GSJ 交差点

34 イベントカレンダー

Cover Page



Port of Lisbon and the Tagus River estuary,
southwestern part of Portugal taken from an airplane.

(Photograph and caption by Futoshi NANAYAMA)

航空機から見たリスボン港とテージョ川河口

リスボン (Lisboa) はポルトガルの首都であり、大西洋に面する同国最大の港湾都市でもある。この街は西ヨーロッパ最古の都市として知られ、紀元前 13 世紀初頭には既にフェニキア人が港として利用していた。16 世紀の大航海時代には、黄金の島“ジパング”を目指して宣教師フランシスコ・ザビエルらが旅だった港として世界史に刻まれている。その一方で、イベリア半島南西沖は欧州屈指の地震多発地帯であり、特に 1755 年 11 月 1 日リスボン地震 (Mw 8.8) では、巨大地震と大津波によって、市街地が壊滅的な被害を受けたことが知られている。

(写真・文：七山 太 / 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門)

茨城県常総市における平成 27 年 9 月 関東・東北豪雨により発生した洪水堆積物の調査

佐藤善輝¹⁾・宮地良典¹⁾・田辺 晋¹⁾・小松原純子¹⁾・納谷友規¹⁾

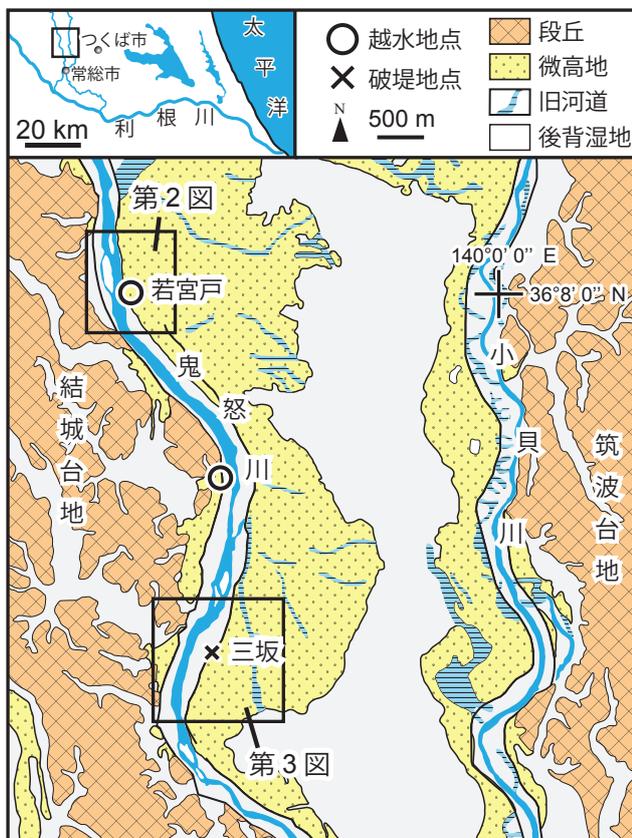
1. はじめに

2015 年 9 月 9 日から 11 日にかけて、台風 18 号（9 月 10 日朝に温帯低気圧に変化）とそれに吹き込む湿った風の影響により東海地方から東北地方にかけて記録的な降雨となった。各地で河川の氾濫や土砂災害が発生し、これら一連の災害は気象庁により「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」と名付けられた（気象庁，2015a）。

鬼怒川流域では、上流部の栃木県日光市で 9 月 7 日～11 日の累積降雨量が 600 mm を超えるなど特に激しい降雨となり（気象庁，2015b），この影響で中～下流部で河川水位が急激に上昇した。鎌庭（下妻市）、鬼怒川水海道（常総市）、高野（利根川合流後、守谷市）の各水位観測地点

では、9 日 16 時以降に水位が顕著に上昇し、翌 10 日 12 時～16 時頃にピークに達した（国土交通省，2015）。鬼怒川水海道では豪雨前（8 日）に比べ 11 m 以上水位が上昇しており、10 日 13 時頃に極大（標高 17.13 m）となった。こうした河川水位の増加に伴い、鬼怒川左岸を中心として破堤や越水が発生し（第 1 図）、洪水流による地表面の侵食や洪水堆積物の堆積、湛水などが引き起こされた（国土交通省水管理・国土保全局，2015）。

地質情報研究部門平野地質研究グループでは、今回の水害で堆積した洪水堆積物の特徴を明らかにするため、9 月 16 日，25 日，29 日，10 月 7 日の 4 日にわたって、常総市若宮戸地区及び三坂地区において地形・地質学的な調査を行った（第 1～3 図，写真 1）。



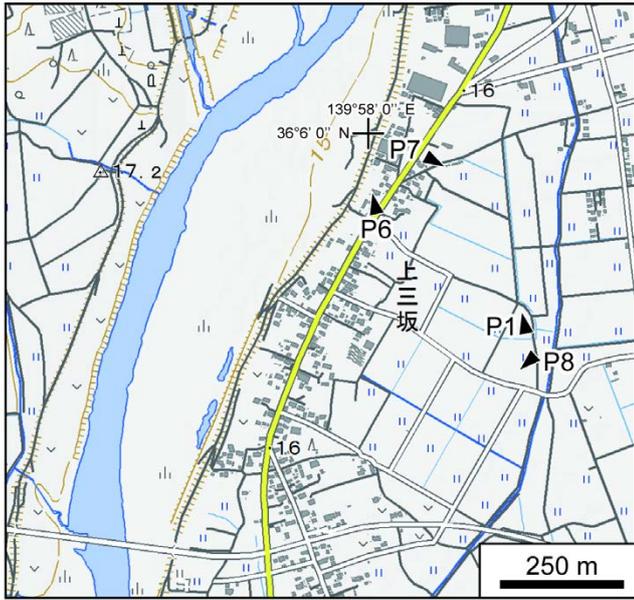
第 1 図 調査対象地域位置図。地形分類は国土地理院発行の治水地形分類図（国土地理院，2011a, b, c, d），越水・破堤地点の位置は国土交通省関東地方整備局（2015）に基づく。



第 2 図 常総市若宮戸地区における観察地点位置図。基図は国土地理院発行の電子地形図 25000 を使用。矢印（P2～5）の向きは写真の撮影方向を示す。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：平成27年関東・東北豪雨，洪水堆積物，常総市



第3図 常総市三坂地区における観察地点位置図。
基図は国土地理院発行の電子地形図25000を使用。
矢印(P1, P6～8)の向きは写真の撮影方向を示す。

2. 常総市若宮戸地区

常総市若宮戸地区の鬼怒川左岸では、9月10日午前6時過ぎに越水が発生した(第1, 2図; 国土交通省関東地方整備局, 2015)。越水地点には河畔砂丘が分布し、その一部が幅約200mにわたって人為的に削削・造成されている(写真2)。

越水箇所北東側で浸水深を調べた結果、河畔砂丘から約180mの集落西端で約1.6m、約260mの集落内で道路路面を基準として約0.9mであった。また、集落東側の水田には主に細粒砂からなる厚さ数～10cm程度の洪水堆積物が認められ(写真3)、表面には北東方向への流れを示すカレントリップルが形成されていた(写真4)。稲な

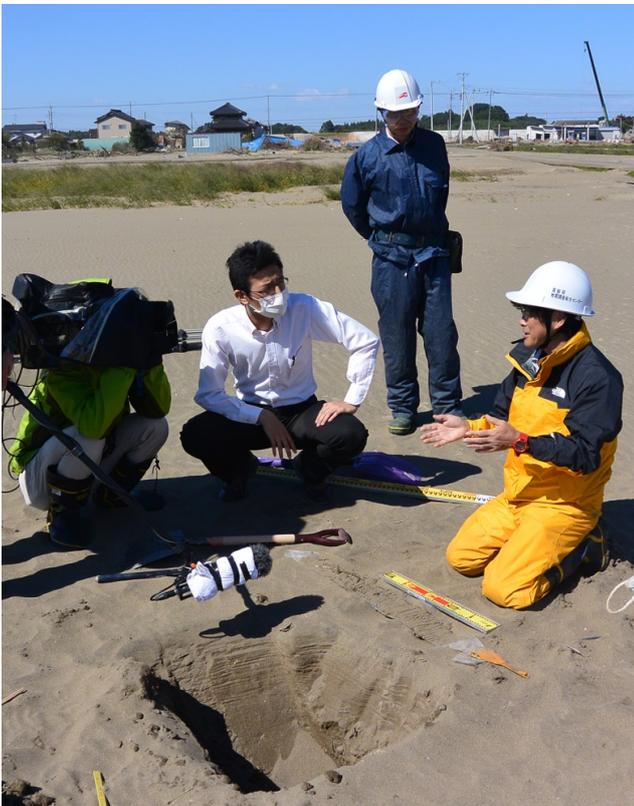


写真1 常総市三坂地区におけるミニトレンチ掘削調査の様子。10月7日の調査時はNHK首都圏放送センターの取材対応を行った。



写真2 常総市若宮戸地区における河畔砂丘の高まり。越水の影響で電柱が東側に傾いている。



写真3 越水により水田上に堆積した洪水堆積物(カレントリップル)。表面を薄く泥質堆積物(マッドドレープ)が覆う。手前のペンの長さは約14cm。

どの倒れた向きも洪水流が北東方向へ流れたことを示している（写真 4）。越水箇所南東側では、層厚約 20 cm の泥質堆積物が水田土壌上に堆積し、それらを覆って南東方向へ舌状に張り出す 3D デューンが形成されていた（写真 5）。デューンは波長数メートルで、層厚約 50 cm の砂質堆積物から形成されていた。

3. 常総市三坂地区

ここでは 9 月 10 日 11 時頃に越水し始め、12 時 50 分頃に堤防が決壊した（第 1, 3 図；国土交通省関東地方整備局, 2015）。破堤により失われた堤防の幅は約 200 m であった。



写真 4 洪水流により押し倒された植物と洪水堆積物の表面に形成されたカレントリップル。写真奥が南西方向（越水箇所）。



写真 5 越水により水田上に堆積した洪水堆積物。南東方向に伸びる 3D デューンを形成していた。

破堤箇所直近には深さ約 1.6 m 以上、幅最大 60 m の侵食地形（^{おっぼり}落堀とクレバスチャネル；鈴木，1998）が形成された（写真 6）。侵食地形の表面には流下した礫や瓦礫によって形成されたと推定される多数のポットホールや擦痕が認められた（写真 7）。破堤箇所から約 150～200 m 以内には、瓦礫の背後など局所的なものを除き、洪水堆積物があまり堆積していなかった。その下流側には細粒～中粒砂を主体とする洪水堆積物が広く分布していた。破堤箇所から約 200～700 m の範囲には、南東～南へ伸びる舌状の高まり（写真 8）が複数条形成されていた。これらは波長数メートルの 3D デューンが複合したものと考えられる。地表面には波長 20 cm 程度、波高 3～5 cm のカレントリップルが形成されていた。洪水堆積物の層厚は、破堤箇所から約 400 m の地点で約 80 cm と最大となり、そこから下流側に向けては薄層化する。洪水堆積物は 3 ユニットに区分でき、越水・破堤に伴う洪水流の流速や密度などの変化を反映していると推定される（第 4 図）。

4. おわりに

本稿で示した調査結果については、今後、詳細をまとめ学会等で報告する予定である。これまで洪水堆積物については伊勢屋（1982）や増田・伊勢屋（1985）、鈴木（1995）による優れた成果があるが、それ以降、国内では研究がほとんど進展していない。今回の調査結果は、堤内地に堆積した洪水堆積物の一例として重要であり、堆積物から過去の洪水イベントを認定する際にも役立つと期待される。

最後に、今回の水害に遭われた方々が 1 日も早く通常の生活へ戻られることを願っています。



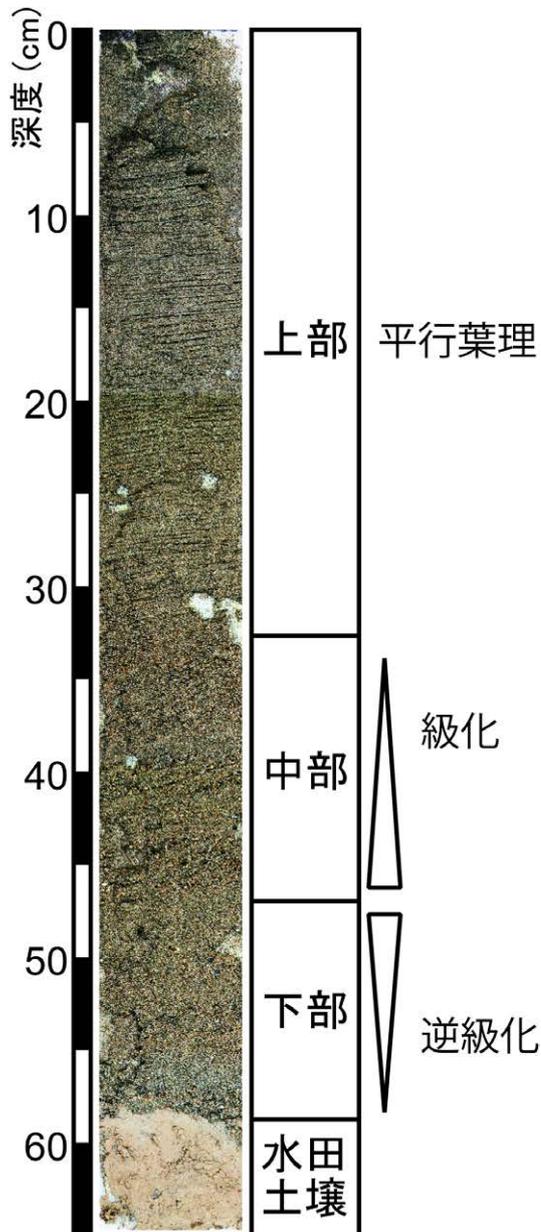
写真 6 常総市三坂地区の破堤箇所直近に形成された侵食地形（落堀）。破堤箇所には水害後の工事で仮堤防が造成されている（写真奥）。



写真 7 侵食地形の地表面に形成されたポットホール。ポットホール内に瓦礫や小礫が認められるものもある。流下する瓦礫などによってできた擦痕も認められる。ねじり鎌の長さは約 28 cm.



写真 8 破堤により形成された南東～南へ伸びる舌状の高まり。3D デューンの複合体から成る。



第 4 図 洪水堆積物の一例（ミニトレンチ壁面の剥ぎ取り試料）。極細粒～中粒砂から成り上方粗粒化を示す下部，細粒～中粒砂から成り上方細粒化を示す中部，平行葉理が発達し小礫の混じる細粒砂から成る上部の 3 ユニットに区分することができる。

文 献

- 伊勢屋ふじこ (1982) 茨城県, 桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理学評論, **55**, 597-613.
- 気象庁 (2015a) 平成 27 年 9 月 9 日から 11 日に関東地方及び東北地方で発生した 豪雨の命名について, http://www.jma.go.jp/jma/press/1509/18f/20150918_gouumeimei.pdf (2015 年 11 月 20 日確認)
- 気象庁 (2015b) 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨について, http://www.jma.go.jp/jma/press/1509/18f/20150918_gouumeimei_sanko.pdf (2015 年 11 月 20 日確認)
- 国土地理院 (2011a) 25,000 分の 1 治水地形分類図「石下」国土地理院.
- 国土地理院 (2011b) 25,000 分の 1 治水地形分類図「上郷」国土地理院.
- 国土地理院 (2011c) 25,000 分の 1 治水地形分類図「水海道」国土地理院.
- 国土地理院 (2011d) 25,000 分の 1 治水地形分類図「谷田部」国土地理院.
- 国土交通省 (2015) 国土交通省水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/> (2015 年 11 月 20 日確認)
- 国土交通省関東地方整備局 (2015) 『平成 27 年 9 月関東・東北豪雨』に係る鬼怒川の洪水被害及び復旧状況等について, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000633805.pdf (2015 年 11 月 20 日確認)
- 国土交通省水管理・国土保全局 (2015) 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨に係る被害及び復旧状況等について, <http://www.mlit.go.jp/common/001105761.pdf> (2015 年 11 月 20 日確認)
- 増田富士雄・伊勢屋ふじこ (1985) “逆グレーディング構造”: 自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造. 堆積物研究会報, no. 22-23, 108-116.
- 鈴木一久 (1995) 滋賀県野洲川, 現世河川堆積物の堆積史と洪水氾濫堆積物の堆積機構. 地質学雑誌, **101**, 717-728.
- 鈴木隆介 (1998) 建設技術者のための地形図読図入門第 2 巻低地. 古今書院, 東京, 554p.
-
- SATO Yoshiki, MIYACHI Yoshinori, TANABE Susumu, KOMATSUBARA Junko and NAYA Tomonori (2016) Investigation of flood deposits in Joso City, Ibaraki Prefecture, caused by the Kanto-Tohoku Gouu (Torrential Rain) in September 2015.

(受付:2015年11月20日)

年頭のご挨拶

国立研究開発法人産業技術総合研究所理事
地質調査総合センター長
佃 栄吉

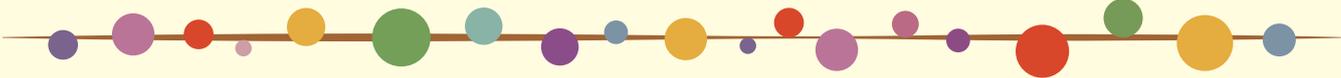
新年あけましておめでとうございます。

地質調査 総合センター（Geological Survey of Japan：GSJ）は1882年農商務省地質調査所としての発足以来、社会のニーズと密接に研究活動を展開してきました。今年で創立134年目となります。近年はエネルギー・資源開発、環境保全、防災の3つの大きな社会的課題に対して研究活動を続けています。それらの基礎であり、GSJが唯一の国の機関として責任を負っているのが地質情報の整備で、国の知的基盤情報の一つとしています。設立当初より地質図作成として継続してきていますが、最近はデジタル化されたデータベースも多くなっています。放射性廃棄物の地層処分、CO₂地中貯留、海域のメタンハイドレート・鉱物資源開発、地熱開発、原子力発電所の重要インフラ立地などの環境・災害リスク評価のための重要な基礎情報として社会に提供しています。また、我が国の大都市平野部や沿岸域の地質情報の整備を重点的に行っています。そのための観測、計測・調査技術の高度化はもとより、地下の地質情報を可視化し、よりわかりやすい情報として表現し、リスクコミュニケーション情報として、政策決定者のみならず、一般国民の判断に使えるものとしていくことが重要と考えています。

昨年、初めて脳ドックを受け、自分自身の核磁気共鳴画像法（magnetic resonance imaging, MRI）や磁気共鳴血管画像（MR angiography, MRA）による画像を初めて見ました。写真はその一つです。それほど脳が萎縮していないというので安心してお見せしています。MRI・MRAはCT画像とともに医療では当たり前のように使われている技術です。ドックの終わりに、種々の画像を観ながら、今後どの程度、何を注意しておくべきかの説明を受けました。私のMRIの画像はソフトとともに購入し、



MRI画像。様々な角度から、また様々な位置の断面を見ながら、医師とリスクコミュニケーションを行った。



自分で自由に回転させながら家族にも見せました。医療の世界はここまで進んできたのかとあらためて実感することができましたが、地球科学を見てみるとまだまだ遅れていると残念ながら思っていました。一戸建ての家を購入すると、通常、設計図や配線・配管など設備の配置図が提供され、将来の修理や改修に必須の情報として保管されていると思います。将来はこれに地下の健全性を示す直下及び周辺の地質地盤、地下水や環境情報が3次的にわかりやすく示したものが家や宅地を売るための重要な付加情報として、社会に実装されるものとなるのでしょうか。土地の価値を決める重要な情報の一つとして、強靱な社会構築のためには是非活用されるようになって欲しいです。

2011年 東日本大震災のあと少したって、地下鉄の吊り広告に「あなたは一生で一回の買い物をギャンブルとしていませんか」というのを目にしました。住宅を買う前には災害リスクをちゃんと調べて買ひましょう、我が社はちゃんとした情報のもとで開発しています、ということらしいです。その会社がどこまで「ちゃんと」しているか不明でしたが、ギャンブルという言葉が気になりました。よくよく考えてみるとギャンブルとはいえ、競馬では馬券を買う前に、馬の血筋、経歴、調教師、最近の調子や騎手は誰かなど普通はよく調べます。非常に高額で多くの人にとっては一生に一度の買い物である住宅の購入がギャンブル以下になっているのではないのでしょうか。

地質地盤情報 の公開性、利便性を考えるとまだまだ多くの課題があります。信頼性の高い、わかりやすい画像を3次的に示す手法の開発を官民でできるだけ早く進めることが重要と思います。大都市の地下情報として重要なボーリングデータの公開を進めるため、日本学術会議地球惑星科学委員会から「地質地盤情報の共有化に向けて—安全・安心な社会構築のための地質地盤情報に関する法整備—」を平成25年1月に提言しました。今年の1月23日には日本学術会議において「強靱で安全・安心な都市を支える地質地盤の情報整備—あなたの足元は大丈夫?—」と題して公開講演会が開催されます。是非多くの方々にご参加いただき、地質地盤情報が、国民の暮らしの安全・安心と社会・経済の持続的発展を支えるための必須の身近な情報となり、地下の可視化が進展するための今後の方策について、広範で活発な議論が展開されることを期待したいと思います。

絶対重力計測の現場から —神岡編—

杉原光彦¹⁾

1. 緒言

ニュートリノに質量があることを神岡坑内での観測によって発見した業績を評価されて梶田隆章氏が2015年のノーベル物理学賞を受賞した。そこで同じ神岡坑内での観測経験を交えて絶対重力計測の課題を検討してみたい。「絶対重力計測の現場から」の記事(杉原, 2010)を書いたから5年が経過し、この間、産業技術総合研究所内外で絶対重力計を共同で使用する機会が増えた。その一方で最近導入した超伝導重力計の活用に時間をとられて、絶対重力計測に関しては、ややおざなりになっていたことが気になってしまったのである。

産業技術総合研究所地圏資源環境部門では、地熱貯留層変動探査技術の開発に適用するために2001年に絶対重力計FG5-L/003を導入し、翌年FG5/217にアップグレードした。以後、現在に至るまで一貫して地圏資源環境研究部門で維持・管理・運用してきたが、主たる使用目的には変更があり、現在はCO₂地中貯留モニタリングの目的に使用している。東京大学地震研究所が絶対重力計測と可搬型相対重力計による計測を組み合わせたハイブリッド重力モニタリングを提唱し(大久保, 2001)、火山活動モニタリング等で成果をあげた(Furuya *et al.*, 2003など)のにならって、我々も地熱貯留層変動探査にハイブリッド重力モニタリング手法を適用した(Sugihara and Ishido, 2008)。一方、CO₂地中貯留研究においては、超伝導重力計による高感度連続重力測定の実用化を始めた(相馬ほか, 2014; 杉原ほか, 2014)。超伝導重力計は1990年代前半には国内にすでに5台導入されていて、日本は超伝導重力計大国と称されたほどであった(瀬川, 1994)。超伝導重力計は他の重力計に比べて圧倒的に高感度・低ドリフトであるが、それでも相対重力計であるので、ドリフト評価は必要である。最も直接的なドリフト評価法は絶対重力計との並行測定であり(Imanishi *et al.*, 2002)、我々もその目的で絶対重力計を使用している。

東京大学地震研究所では松代と神岡の坑内で超伝導重力

計による高感度連続測定を実施している(Imanishi *et al.*, 2007, Imanishi, 2009)。超伝導重力計のドリフト評価、感度評価を目的とした絶対重力計との並行測定を行うために、我々の絶対重力計FG5/217を利用したいという希望が伝えられた。これに対して、機器の有効活用という意義に加えて、超伝導重力計と絶対重力計の両方の活用に豊富な実績のある東京大学地震研究所から計測法を学ぶ良い機会になることも期待して共同での計測を実施することとなった。日程調整の結果、まず松代観測点で並行測定を実施したあと、神岡観測点に移動して並行測定を実施することになった。産業技術総合研究所からは、松代での計測には地質情報研究部門の名和一成と宮川歩夢が参加し、途中で名和と杉原が交代して杉原は松代の撤収作業から、神岡への移動、計測に参加することとなった。

2. ノーベル街道をゆく

2013年7月10日朝、前夜からの計測を終了し、絶対重力計一式を解体・梱包・積載して松代を出発した宮川と杉原は、富山インターチェンジで北陸自動車道を下りて国道41号線、通称ノーベル街道に入った。2002年に富山市出身の田中耕一氏がノーベル化学賞を、神岡町で研究していた小柴昌俊氏がノーベル物理学賞を受賞したのを機に、富山市から神岡を経て高山に至る国道41号線をノーベル街道と称することを地元で提唱されるようになった。2000年にノーベル化学賞を受賞した白川英樹氏が小学生から高校生までの期間を高山市で過ごしたこと、1987年にノーベル生理学賞を受賞した利根川進氏が富山市で小中学時代を過ごしたことも加味された。また、名古屋大学にゆかりのある受賞者が相次いだことから、延長して名古屋市までをノーベル街道と称することもあるようだ。

富山県南端の猪谷までは道路、鉄道、神通川は並走してきたが、ここで左右二手に分かれる(第1図)。道路は左がノーベル街道(越中東街道)、右は国道360号線(越中西街道)に。神通川は左が支流の高原川、右は本流だが、

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

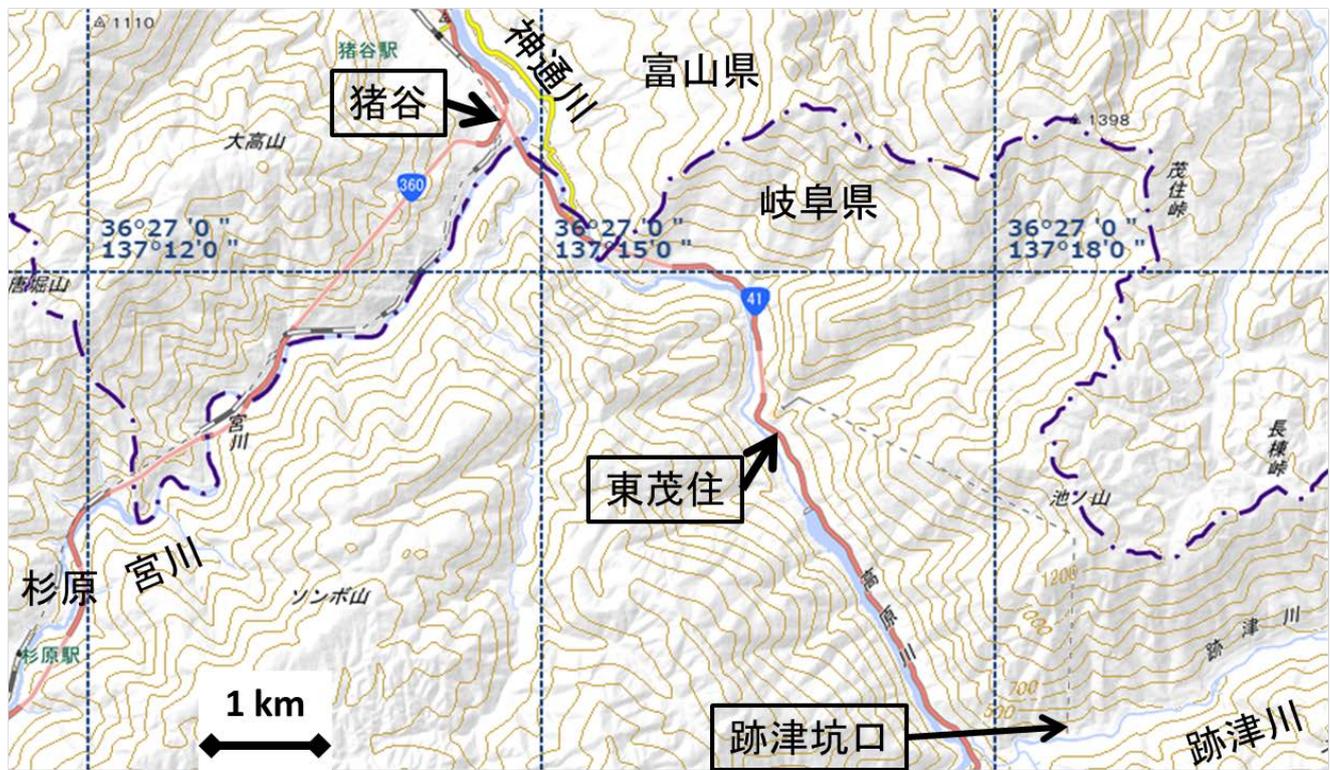
キーワード：神岡、ノーベル賞、絶対重力計、ノーベル街道、重力波、干渉計、司馬遼太郎

通称は宮川に変わる。鉄道については猪谷駅で左方向に分岐していた神岡線が廃線となった後は高山本線だけが右方向に続く。ノーベル街道をそれて右に行けば宮川町杉原地区にある飛驒最北端の杉原駅に到着するはずだが、宮川と杉原はノーベル街道を進み、約4 km 走って東京大学宇宙線研究所重力波推進室神岡分室がある東茂住^{ひがしむすみ}に到着した。近くにはノーベル街道散策路の看板があった。

司馬遼太郎の街道をゆく「飛驒紀行」(司馬, 1990)の最後に東茂住が登場する。高山から越中東街道を北上して東茂住に到着した後、その日のうちに高山市に戻って「飛驒紀行」を終えている。16世紀末からの飛驒高山の繁栄を支えた鉱山開発を主導した茂住宗禎に、司馬遼太郎は強い興味をいだいて所縁の地、東茂住を訪れたのだった。司馬(1990)によれば、16世紀のある時期までの日本では金は専ら川などで採り、鉱石を採って精錬することはしなかった。茂住宗禎は露頭の発見や採掘・冶金についての新技術を持っていて1586年に池之山で銀の鉱脈を発見した。以後20年間にわたって鉱山開発し、飛驒高山に巨万の富をもたらした。その功績で商人出身の茂住宗禎は領主金森氏の一族一門の扱いとなり、茂住には高山をものぐほどの人が集まった。その後、幕府は金森氏を出羽に国替えして飛驒は天領となったが、神岡諸坑の銀の生産量は

落ちて銅山となった。衰退の原因は茂住宗禎の関与がなくなったからとも考えられる。幕末に銅山が衰退したあと明治期に洋式精錬法が導入されて銀と鉛が主となった。その後、亜鉛と鉛が主な生産物となったあと、2001年に閉山した。司馬遼太郎は神岡の鉱山開発史を辿り、20年間の最盛期を茂住にもたらした茂住宗禎の技術力を讃えた。当時は広大だったという茂住宗禎の住居の痕跡のうち司馬遼太郎が確認できたのは所縁のある寺だけだった(第2図)。

余談だが、司馬遼太郎が亡くなった1996年にはノーベル街道の呼称はなかった。存命であれば司馬遼太郎による「ノーベル街道をゆく」が実現していたはずだ。様々な逸話(前向きで技術的な話題が多い)を余談として綴っていくのが司馬遼太郎の流儀に思えるが、ノーベル街道にはそれに適した逸話が多い。2002年の小柴昌俊氏の物理学賞に関しては、カミオカンデのセンサー開発に貢献した製造会社の社長の発言が話題になった(辻, 2015)。茂住宗禎の異能に注目して東茂住に足を運んだ司馬遼太郎であれば熱心に取材して様々な逸話に溢れた紀行文を著したことだろう。東茂住に係る2回目のノーベル物理学賞の報も大いに喜んだに違いない。



第1図 富山県猪谷から東茂住、および神岡坑口の位置図。地理院地図(電子国土 Web, <http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389>)から引用。



第2図 茂住宗禎邸跡を示す看板(上)と付近の風景(下)。

3. 神岡坑内へ

東茂住からノーベル街道を高原川に沿ってさらに上流方向に進むと断層で有名な跡津川との合流点に至る。ここで支流の跡津川に沿った道路を1 km進むと跡津坑口がある。坑内には登録された車両しか入れない。絶対重力計一式と我々自身もチャーターした車両に乗り移って坑内に入った(第3図)。年に1度の一般公開を週末に控えて、坑内各所で展示の準備作業が行われていた。跡津坑口から北に向かって伸びる坑道は道幅もあり、通常のトンネルを走行する感覚だった。跡津坑口から北に約1.5 km進むとSK入り口前交差点に達する。SKはスーパーカミオカンデの略称である(第4図)、2日後の絶対重力計測終了後に、研究代表者の東京大学地震研究所の今西祐一氏はスーパーカミオカンデを見学する機会を設けてくださった。廊下にはこれまでに見学に訪れた要人のサインや研究成果を説明するポスター展示があった。その中には2015年ノーベル物理学賞の対象となった研究についての説明もあった。光電子増倍管の実物展示もされていた。スーパーカミオカンデ実験水槽室に入ると頭上の空間は広がるが、床下にあるはずのさらに大きい水槽内部を覗くことはできなかった。意

外に大きい光電子増倍管が数多く暗闇の水中で静かに鎮座して、その瞬間を待機している光景を想像して厳粛な気持ちになった。

SK入り口前交差点には入退室をチェックするボードがあり、今西氏が車を降りた(第5図)。ここからゆるい上り坂を約150 m進んだところが駐車場になっている。駐車場で車を降りてすぐそばのドアを開けると実験室だった。実験室を奥に進むと超伝導重力計室があり、部屋の奥に超伝導重力計が設置されていた。ここは以前、プロトタイプの重力波観測用20 m干渉計が設置されていた場所であった(大橋, 2001)。

4. 絶対重力計測

稼働中の超伝導重力計は旧型でヘリウムが少量、漏洩する。ヘリウムは絶対重力計FG5に内蔵されているルビウム原子時計に悪影響を及ぼすことが知られているので、それを避けるために少し離れた入口付近に絶対重力計を設置した(第6図)。その地点では2005年から2008年にかけて京都大学のFG5/210による計測が行われていた(東ほか, 2009)。



第3図 機材一式を積み替えた車（上）と坑口（下）.



第4図 坑内位置を示す看板と重力観測点の位置.



第5図 スーパーカミオカンデ交差点.



第6図 2台の重力計（左：手前が超伝導重力計で右奥が絶対重力計； 右：絶対重力計（写真提供は東京大学地震研究所の今西祐一氏。））。

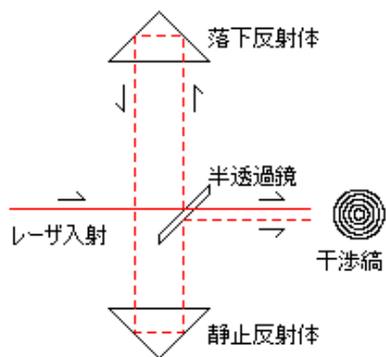
すでに松代観測点での絶対重力計測の際に地震研究所のノウハウの一部を伝授されていた。例えば、鉛直性調整に際しては、干渉計の上下の光路上にアルコールプールを差し入れてアルコール面での反射光を直進光と比較して各々の光点が一致するように調整する（第7図）。鉛直からのずれがあれば重力計測値には、ずれの角度の余弦に比例した誤差が生じる。光点が一つ分ずれていれば4マイクロガル（ μ Gal）相当の誤差が生じ、二つ分ならば16マイクロガルもの誤差になる。地震研究所ではアルコールプールの中心に光線があたるように差し入れる位置を考慮していた。アルコール面が表面張力で水平面からずれることの影響を懸念していたのだ。アルコールの表面張力は水の表面張力よりもかなり小さいが、それでもなお気にしていたのだ。

その一方で私たちが行っている手順もほめていただいた。絶対重力計の原理は真空中の自由落下過程が重力値で定まることを利用して、自由落下する落体の軌跡を計測して重力値を推算する。FG5型絶対重力計の場合は落下槽内で20 cmの真空中を0.2秒で自由落下する反射体と、その直下に設置してある静止反射体での反射後のテストビームと直進した参照ビームによって生じる干渉縞を数えて自由落下過程を計測する。静止反射体は地動の影響を除くためにスーパースプリングと呼ばれるバネで吊るされている。落下反射体が放たれる際の振動の影響を避けるために落下槽を支える台とスーパースプリングを支える台は、各々切り離されており、独立に水準調整する（第8図）。したがって、計測時の水準調整操作によって落下槽の台の

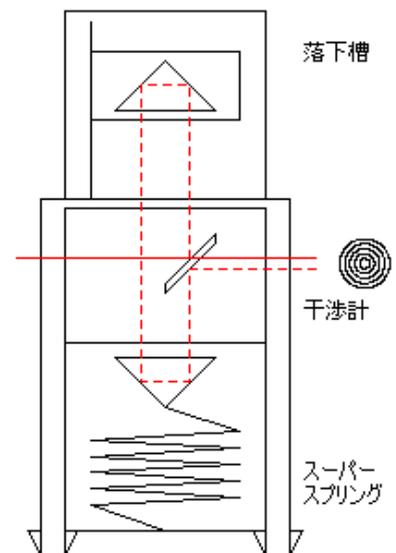
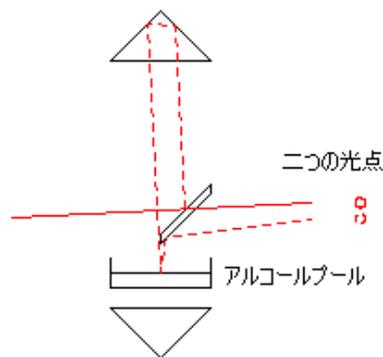
高さとしすーパースプリングの台の高さが変化する。微小量ではあるが、この高さを設置時だけでなく、終了時にも計測していることを評価していただいたのである。これは大学教官ならではの教育的配慮だったかもしれない。

神岡ではノイズレベルの非常に低い測定データが得られた（第9図）。FG5/217にとっては数日前に計測を実施した松代観測点が国内で最も静かな地点だったが、神岡観測点で早速更新された。通常、観測に際しては極力ノイズレベルが低い場所を探して行く。重力波観測の場合は、よりよい環境を求めてプロトタイプの20 m干渉計を東京都三鷹市から神岡の地下に移設した（大橋, 2001）。地震研究所の超伝導重力観測点もノイズの少ない地点を選んだ。松代の地点は茨城県石岡市から移設したものだ（Imanishi *et al.*, 1998）。これに対して、私たちが通常実施している観測は、ノイズの大きい場所であっても、そこで計測する必要があって行っている。テキサス州ファンズワースでのデータと比較すれば（第10図）、神岡とのノイズレベルの違いは一目瞭然である。余談だが、「ファンズワース、重力」をキーワードとして検索するとノーベル賞級の有名建築家ミースの代表作ファンズワース邸（重力の制約を感じにくい建築）を差し置いて杉原（2015）が上位に現れる。誠に恐縮だがこれは密かな喜びでもある。

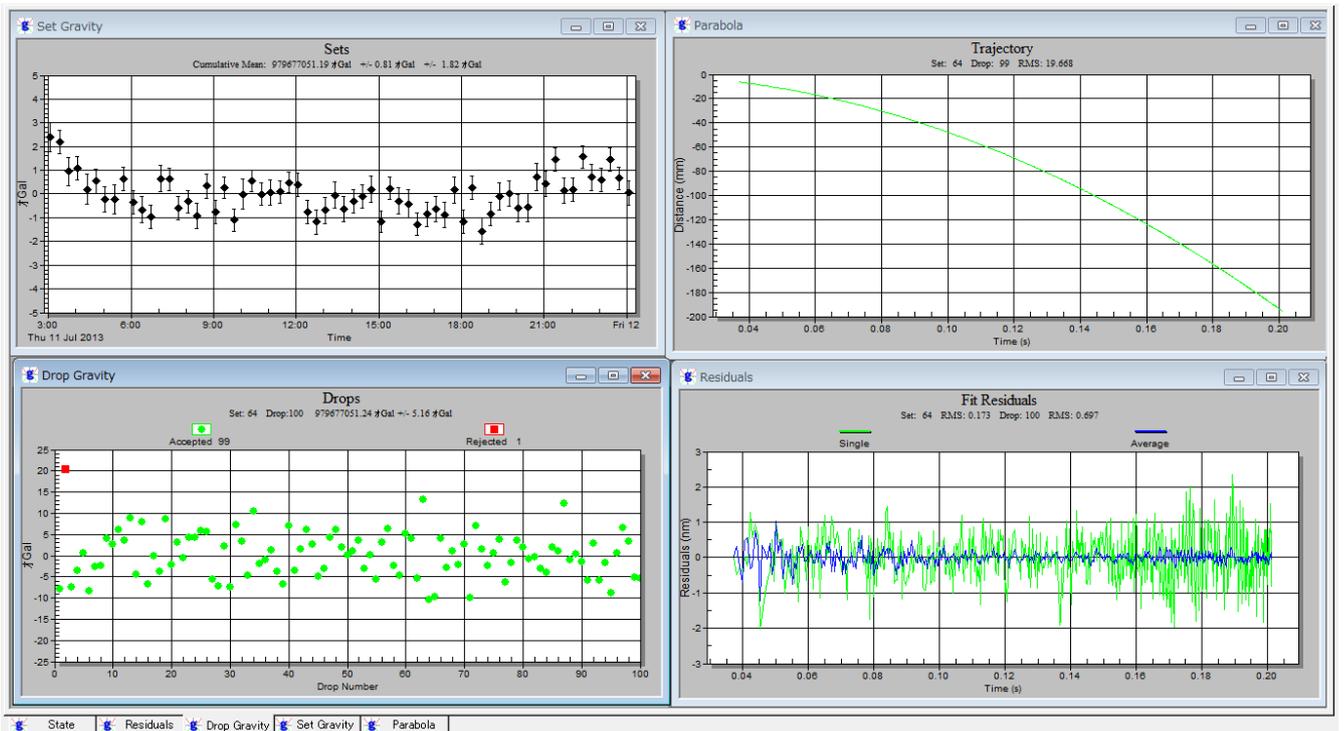
2015年にも神岡で再度計測を行った結果ドリフトが評価され、なかなか興味深い結果が得られた（今西ほか, 2015）。以前の計測結果（東ほか, 2009）と比べると2011年東北地方太平洋沖地震を機に神岡観測点での重力経年変化の傾向が大きく変わったように見える。これは



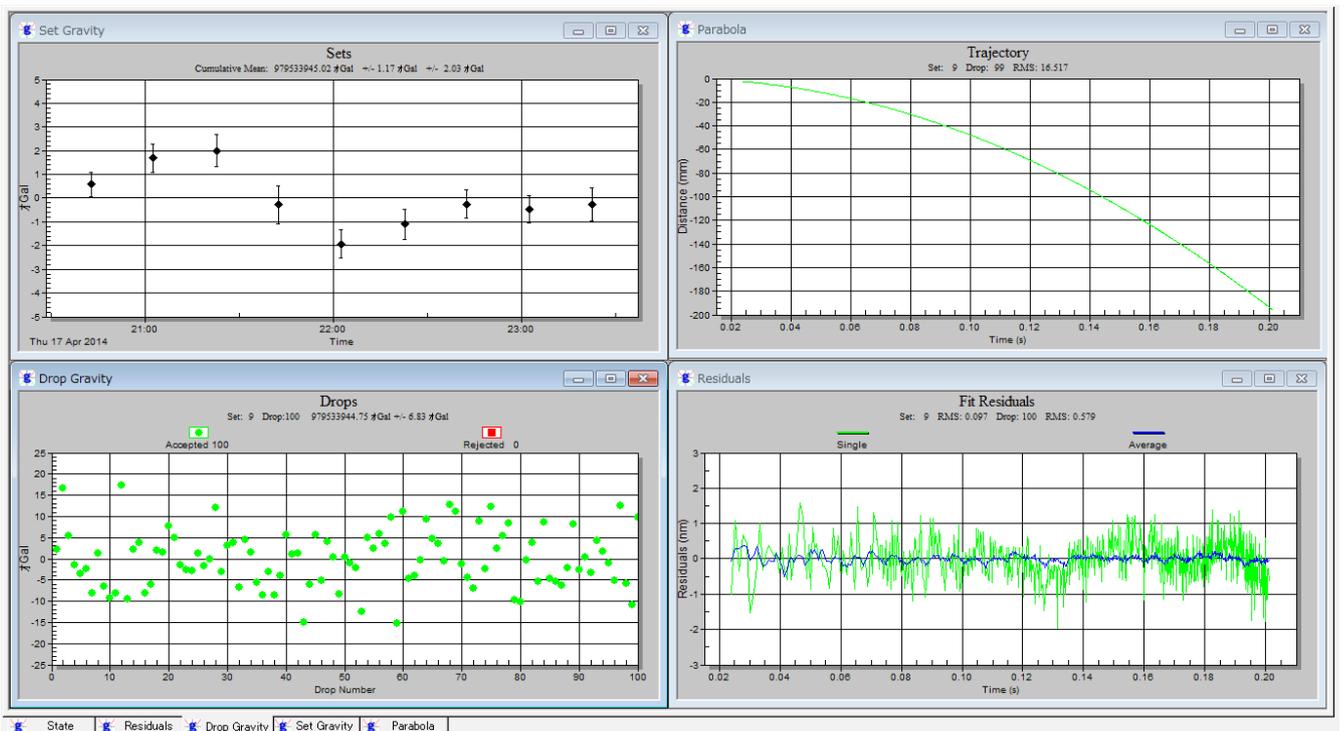
第7図 絶対重力計FG5の干渉計（左：計測時；右：鉛直性調整時）。



第8図 絶対重力計FG5の構成図。



第9図 神岡での記録例。絶対重力計FG5による計測中の画面の例。右上：1回の落下試験で計測された自由落下の軌跡。0.2秒間で20cm落下する。右下：自由落下の軌跡から重力加速度 g を推定した計算値と観測値のずれ。横軸は0.2秒間全体、縦軸は ± 3 nmの範囲で示した。左下図：100回の落下試験で求められた重力値の分布。 $\pm 25 \mu\text{Gal}$ の範囲で示す。左上図：100回毎の落下試験による推定値と推定誤差の時間変化。 $\pm 5 \mu\text{Gal}$ の範囲で示す。



第10図 テキサス州ファンズワースでの記録例。表示形式と測定範囲は同じ。神岡の結果と比べると100回の落下試験による重力値のばらつきが大きさが目に付く。

是非、今後も観測を継続して追求したい課題だ。この結果もさることながら、私には絶対重力計の価値を再認識するデータでもあった。最近、導入して間もない超伝導重力計の高感度連続記録の特徴に目を奪われ、絶対重力計は超伝導重力計の検定用の装置として、超伝導重力計記録を評価する上での参考データとして見るようになっていた。しかし神岡での観測事例によって両方の記録が各々の特徴を反映した同等の価値を持っていることを再認識した。

5. 神岡に係る3回目のノーベル賞への期待

2015年ノーベル物理学賞受賞で神岡に関しては2回目のノーベル賞となった。二度あることは三度あるという。早くも3回目のノーベル賞への期待もささやかれている。それは残念ながら私たちではない。今西ほか(2015)は確かに有望な計測結果ではあるが、ノーベル賞候補研究とはカテゴリーが異なる。今後さらに目覚ましい展開があったとしても受賞者数には3名までという制限がある。またほとんどの場合は対象となる成果が出てから数10年経過しての受賞となり、その時に存命でなければならない。したがって私が受賞になる可能性は限りなくゼロに近い。そもそも地球物理学の分野はノーベル物理学賞の対象になりにくい。1980年代にわずかに可能性を感じられたことがあった。第5の力の可能性が議論され、検証実験として我々に馴染み深い規模での貯水池や塔での計測実験もなされた(大槻, 1988)。実験上の問題点について私なりに突っ込みどころがあったが、それではいかにも心もとない。第5の力の話は立ち消えになったようだ。このときには絶対重力計の開発チームも関わっていた(Faller, 2005)。

神岡での3回目のノーベル賞の可能性があるのは1つではない。いずれも目標が達成されれば物理学の根幹に係る大発見となる。例えば、ハイパーカミオカンデ。最初のノーベル賞を生み出したカミオカンデ、今回のノーベル賞を生み出したスーパーカミオカンデとスケールアップした検出器をさらに20倍大きくしたハイパーカミオカンデ計画がある。そもそもカミオカンデ計画の目標だった陽子崩壊の検出をねらう。ただし2025年の実験開始予定でまだ先だ(赤谷, 2015)。これは神岡での4回目のノーベル物理学賞の候補と言えるかもしれない。3回目のノーベル賞は暗黒物質検出(中島, 2015)についても可能性があるが、私が最も期待するのは重力波の検出だ。検出器が干渉計ということもあるし、「重力」同士で親近感があるからだ。

アインシュタインが1916年に一般相対性理論を提唱してから100年になる。一般相対論によれば重力は時空の歪みで生ずるが、時空の歪みが伝搬する波動現象が重力波だ。検出器は干渉計だ。原理的には絶対重力計の干渉計と同じだ。神岡で建設中の重力波検出用の干渉計の感度は銀河系のサイズに対して1cmの歪みの検出レベルと聞くと、人智を超えた試みに思えてにわかには可能性を信じられないが、複数の国際チームによって進められている(国立天文台, 2014)。神岡の現場付近で行きかう大型トラックに、その熱気を感じたし、掘進率の新記録を作って完成を急いでいるという報道(鹿島建設, 2013)に2017年の観測開始に向けて総力を上げて取り組む強い意志を感じた。

小出(1984)は地下空間利用に関して、日本は地下街など、すでになりに活用している一方で、地下へのアレルギーのようなものがあると述べた。小出(1984)には最後に当時建設中だった神岡の陽子崩壊実験施設(後年のカミオカンデ)の図が示されているが、神岡での2回のノーベル賞受賞の明るいニュースは地下へのアレルギーを払拭したのではないだろうか?小出(1984)は、また地下利用技術は歴史的にも国家の技術レベルを端的に示すとも表現した。日本の坑井掘削技術が米国・ロシア(当時はソビエト連邦)に比べて見劣りがすることを指摘した。神岡での地下実験施設工事は、この点でも貢献しているように思える。

重力波検出のターゲットの可能性もいくつかあるが、注目したいのは金・銀等の重い元素を作るrプロセス(金井, 2012; 田中, 2015)の検証だ。rプロセスが実現する場として最近、有力視されているのは2つの中性子星の合体だ。この際に重力波も射出される。神岡鉱山は閉山直前は亜鉛鉱山として有名だったが、その前は銅(新田ほか, 1973)、江戸時代の最盛期には銀が主産品で金も採掘された(司馬, 1990)。銀を生産していた神岡で金銀生成の瞬間を検出できれば、それは素晴らしいことだと思う。神岡で3回目のノーベル賞も間違いのないだろう。

6. ノーベル賞研究と先達の教え

ノーベル賞受賞報道では梶田隆章氏の穏やかな人柄の一方にある観測に対する厳しい姿勢を讃えている。中でも保坂(2015)の記事が印象的だ。『ニュートリノは、きわめて物質を透過しやすい。だから、たまにしか検出器に引っかからない気まぐれなこの素粒子を、こちらは、つねにベストな状態で待ち続けなければならない。「実験」のように、てきぱきと装置を整備して、次から次へと作業をこなすと

いうわけにはいかない。観測は、自然相手の「待ち」の作業なのだ。毎日が、この緊張感の繰り返し。勝算だって、十分にあるわけではない。世界の科学者が納得するデータがたまるまで、それが何年も続く。それだけではない。梶田さんたちがあきらかにした「ニュートリノには質量（重さ）がある」という事実は、当時の理論とは相いれないものだった。理論的に「たぶんこうだろう」と予測されていたものを観測で確認した、というタイプの研究ではないのだ。（中略）新しい結果が出てきたら、それを徹底的に疑う。疑って疑って、それでも否定できなかったものが、科学的真実として生き残る。この科学の流儀を、社会学者のロバート・マートンは、科学を構成する大切な要素として「系統的懐疑」と名づけた。だから、「ニュートリノに質量がある」と主張する梶田さんたちは、当時の物理学界では、期待されつつも疑いの目で見られるのが当然だったのだ。頼りになるのは、自分たちが集めた観測データだけ。これが、「観測データが私を支えてくれた」という梶田さんの言葉のほんとうの意味だ。自分の絶対重力計測と比べると観測の厳しさには雲泥以上の差があるにしても、共感できる言葉だ。観測の厳しさと向き合うために先達から受けた教えを振り返ってみる。

東京大学地震研究所から学んだことはすでに述べた。絶対重力計測に関して困難が生ずると、色々な人に助言を求めたが、やはり製造元に問い合わせることが多かった。製造元のD氏には懇切丁寧に教えていただいた。辛抱強く調整する必要がある場合などは根気よく励ましてもいただいた。調整のための赤いスポットが見えない場合など、まず接眼レンズが機能しているかどうかの確認方法から教えてくれた。接眼レンズをはずして星を見るように言われて、オリオン座の一番明るい赤い星に狙いを定めた。接眼レンズを覗くが見えず。接眼レンズに問題があったのか？と思った時に赤い光が視野に入り、「ベテルギウスが、いつもより大きく見えました。膨張したかもしれません」と連絡すると、「私もベテルギウスの行方が心配です」という返信があった。表現するのが難しい奥義のような手法をかみくだいた表現で教えていただいたこともある。D氏が言っていたことで、まだ実行を躊躇していることがある。それは1日1回の計測毎に絶対重力計を組み立て直すことだ。

国土地理院の歴代の重力係の方々にも大変お世話になってきた。特に導入初期にお世話になったことは杉原(2010)に書いた。担当者は人事異動によって2~3年で入れ替わっていくのだが、ノウハウは丁寧な記録によって引き継がれている。私はといえば、導入以来、係って

きたことでかえって記録をおろそかにしてしまい、トラブル発生時には国土地理院のトラブル対応集を度々確認させていただき始末だった。国土地理院が主催して年に1度筑波山麓で行われる比較観測会も貴重な情報交換の場なので、できるだけ参加することになっている。

以前、絶対重力計測を含む2週間ごとのハイブリッド計測を半年間、外注作業として行ったことがあった。実際の測定作業を担当したのは、確かな水準測量技術を買われて調査の度に臨時で九州から出向いてきていたK氏で、私よりも年長だが謙虚な方だった。測量器具以外の計測器を扱った経験がなくて、オシロスコープもデジタル電圧器も初めて使用されるとのことだったが、手順書に忠実な上に気付いたことは細かくメモして測定作業時に参照していた。手順書に出てきた機材には「オシロ」「デジボル」というようにいちいちラベルを付けていた。得られた計測結果は良好だった。私は、ラベルをそのままにして使用していたのだが、時の経過とともに剥がれ落ち、私の計測も雑になった。絶対重力計導入直後は、事実上、一人で新しい装置を扱って行かなければならないということで、英文マニュアルと導入時に受けた取扱い説明時に撮影したビデオ記録を参考にして手順書とチェックシートを作り、それをいちいち確認記入しながら計測していた。その後に手順書の中身が変更しても修正が追いつかず、やがてチェックシートへの記入も省略して記憶に頼って行うようになってしまっていた。

手順書を作成した時に意味を良く理解せずに書き写していたことがある。絶対重力計を設置する際に目印を南向きに合わせることになっている。その場合はアルコールプールを使う調整作業などは東側から行うことになるが、現場によっては東側に十分な作業空間を確保できないことがある。なぜ南向きにするのかという理由を理解すれば対応方法が見えてくる。それはコリオリ力による影響を最小限にするためだった(Niebauer *et al.*, 1995)。北向きでも同じ効果があることを理解していれば現場計測の際の選択肢は広がる。

こうした先達の教えと自分の経験を反映させるには、手順書・チェックシートの改訂が有効だ。この機会にぜひ、取り組みたいと思っている。

7. 結語 —名だたる方の教えを承けて—

この稿を書いている今日は旧暦の重陽の節句にあたる。平安時代には、菊の花の露を染み込ませた綿で顔を拭いて不老長寿を祈ったと言われ、とりわけ名だたるお宅の菊

の花ならば効果が大きいとして尊重されたい(中島, 2011)。名だたる宿の露ならぬ、名だたる場所の空気に触れたことで絶対重力計 FG5/217 の寿命が延びることを期待したい。実際には前述のように名だたる方々の教えを継承することが計測の寿命を延ばす効用があるのだと思う。

本稿執筆を中断していた。米国の製造会社での点検を終えて戻ってきた絶対重力計の調整に手間取っていたのだ。出張予定日が近づいても不安定な動作の原因がつかめずにいたが試行錯誤してやっと回復したところだ。思い返せば、こういう不安とは常に隣り合わせだった。FG5 はいつでも誰でもすぐ使えるという装置ではない。汎用の測定器とまではまだ言えない。使用者の努力を要する装置だ。このようなつきあいはこれからも続くだろう。不断の努力までは要しないが普段の努力は必要だ。絶対重力計の移送後に不安定な挙動を示すことはよくあり、米国からの返送直後に顕在化することもあった。購入後の数年間は私の装置ではトラブルはなかったが、比較観測会場で、米国から戻ったばかりの絶対重力計がどうしても作動せずに送り返されたこともあった。FG5/217 も、調整時にどうしても光が見えず、中を開けたらレンズがころがり落ちていたのを見つけて接着剤で固定し直したこともあった。

メンテナンス費用もかかる。基本的には年に 1 回、米国の製造会社での点検を行ってきた。その予算の確保のために色々な研究テーマに係ったし、維持を断念すべきではないかと迫られたこともあった。しかし地圏資源環境研究部門だったからこそ、絶対重力計を導入できて、維持してこられたということも意識する必要がある。今ならば、精度はやや劣るが計測環境には強い A10 型絶対重力計を使用しないのかという批判もあるかもしれないが、FG5 と同じくらい高価な A10 を簡単に導入はできないので、既存の FG5 を活用する方法を工夫する必要がある。

私自身が FG5 によって鍛えられてきたという側面がある。臆面もなく私自身を振り返れば、記憶は良いが感度は低い子供だった。小学生の頃に「湯川少年は石を二つに割って、さらに二つに割って、それを繰り返していったら、どうなるのだろうと考え続けて大人になって中間子を発見しノーベル物理学賞を受賞しました」という伝記を読み、物理学はありえないと思った。中学生の頃、今は国際政治学者として活躍している同級生が授業の合間に周囲の級友の将来を占ったことがあった。物理学方面かなと言われた私は、湯川少年を思い出して困惑した。高校の地学の授業で「新しい地球観」(上田, 1971) の感想文を書くことが課題として出された。生き生きとした研究活動の記述に魅了されると共に地球物理学という分野の存在を知った。し

かし地球物理学科進学を決意しても相変わらず文芸書を読み流す日々だった。大学の教養課程で天文学を受講した時(杉本・浜田, 1975)、星の中では最後に鉄ができます、と聞いても、「鉄より重い金・銀はどうしてできるのか?」という疑問を持つことはなかった。そんな私でも観測経験を通して少しずつ実践的に考えられるようになった。特に絶対重力計との付き合いは効果的だったように思う。しかし手抜きもあった。

輸送によって不安定になりやすいことは手抜きをせずにトラブル対応を整理して経験を積み自分の技術力をつければ克服しうる問題だとも考える。自分の技術力が向上して米国製造社での点検頻度を減らせられれば輸送のリスクを減らすこともできるしメンテナンスコストも抑えられる。絶対重力計は簡単に扱える装置ではないが、大久保(2005)が主張するように極めて有用な装置であることには違いない。FG5/217 は測定環境が良くない場所で使う機会が多いという特殊な事情がある。ノイズレベルが大きい私たちの計測では、静かな場所での計測とは異なる工夫が必要になる。ファンズワースでの計測の際の鉛直性の調整時には、接眼鏡を覗いても 2 つの光点は見えないことがある。テストビームの方は地動の影響でぼやけてしまっただけで光点とならず、参照ビームを黄身に見立てると目玉焼きのように見えるのだ。したがって鉛直性の調整はどうしても甘くなる。これに対しては計測値の評価は時間を細かく区切って行い、得られた計測値の分布を調べて、大きい数値に重みをつけて評価する。鉛直性調整が甘かったために鉛直からのずれが残っていれば、計測値は小さく出ることを考慮した評価法だ。こうした独自の工夫を先達の教えに加えて、手抜きせずに根気よく取り扱えば、絶対重力計の性能を十分に引き出す観測ができるだろう。

謝辞

神岡における重力測定・観測は、東京大学宇宙線研究所共同利用プログラムの一環として実施された。神岡坑内での測定作業にあたって便宜を図っていただいた東京大学宇宙線研究所、坑内計測の機会を与えていただき、写真も提供していただいた研究代表者の東京大学地震研究所の今西祐一氏、一緒に計測に係った地質情報研究部門の名和一成氏と宮川歩夢氏、神岡での計測について情報を提供して下さった筑波大学の池田博氏と京都大学の東敏博氏に感謝いたします。

文 献

- 赤谷拓和 (2015) ニュートリノの“変身“という大発見. ニュートン, **35**, 12月号, 24-33.
- Faller, J. E. (2005) The Measurement of Little g: A Fertile Ground for Precision Measurement Science. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, **110**, 559-581.
- Furuya, M., Okubo, S., Sun, W., Tanaka, Y., Oikawa, J., Watanabe, H. and Maekawa, T. (2003) Spationtemporal gravity changes at Miyakejima volcano, Japan: Caldera collapse, explosive eruptions and magma movement. *J. Geophys. Res.*, **108**, B4, 2219, doi:10.1029/2002JB001989.
- 東 敏博・福田洋一・田村良明・佐藤忠弘・竹本修三・早河秀章・由井智志・大橋正健・内山 隆 (2009) 神岡鉱山における繰り返し絶対重力測定と重力季節変化. 測地学会誌, **55**, 87-93.
- 保坂直紀 (2015) 天国の戸塚さんに届け 梶田さんのノーベル賞受賞の報. YOMIURIONLINE 2015年10月08日10時30分, <http://www.yomiuri.co.jp/fukayomi/ichiran/20151008-OYT8T50033.html> (2015年10月08日参照)
- Imanishi, Y. (2009) High-frequency parasitic modes of superconducting gravimeters. *J. Geodesy*, **83**, 455-467.
- Imanishi, Y., Segawa, J., Furuya, I., Kashiwabara, S., Takayama, H. and Nishimae, Y. (1997) Gravity observation by means of a superconducting gravimeter at Matsushiro, Japan. *International Association of Geodesy Symposia*, **117**, 115-122.
- Imanishi, Y., Higashi, T. and Fukuda, Y. (2002) Calibration of the superconducting gravimeter T011 by parallel observation with the absolute gravimeter FG5 #210 a Bayesian approach. *Geophys. J. Int.*, **151**, 867-878.
- Imanishi, Y., Sato, T., Higashi, T., Sun, W. and Okubo, S. (2004) A network of superconducting gravimeters detects submicrogal coseismic gravity changes. *Science*, **306**, 476-478.
- Imanishi, Y., Tamura, Y., Ikeda, H. and Okubo, S. (2009) Permanent gravity changes recorded on superconducting gravimeters from earthquakes in central Japan – The Noto Hanto and Niigataken Chuetsu-oki events in 2007. *Journal of Geodynamics*, **48**, 260-268.
- 今西祐一・名和一成・杉原光彦・宮川歩夢・田村良明・池田 博 (2015) 神岡における絶対重力測定と長期的重力変化. 日本測地学会第124回講演会, 37.
- 鹿島建設 (2013) 長孔発破を用いて NATM 工法での国内最高記録・月進 359m を達成～東京大学大型低温重力波望遠鏡施設工事 (神岡トンネル) ～, <http://www.kajima.co.jp/news/press/201312/19c1-j.htm> (2015年11月5日参照)
- 金井 豊 (2012) 地質学と環境放射能 (2) —放射性核種の観測と挙動—. GSJ 地質ニュース, **1**, 335-342.
- 小出 仁 (1984) アンダーグラウンド, —隠れたフロントニア—. 地質ニュース, no. 363, 38-55.
- 国立天文台 (2014) 国立天文台ニュース, 特集「重力波天文学が拓く宇宙」, no. 247, http://www.nao.ac.jp/contents/naoj-news/data/nao_news_0247.pdf (2015年11月5日参照)
- 中島林彦 (2015) 暗黒物質を捉える. 日経サイエンス, **45**, no. 10, 48-55.
- 中島輝賢 (2011) 伊勢. 笠間書院, 東京, 131p.
- Niebauer, T.M., Sasagawa, G.S., Faller, J.E., Hilt, R. and Klopping, F. (1995) A new generation of absolute gravimeters. *Metrologia*, **32**, 159-180.
- 新田富也・深堀康昌・山田 毅 (1973) 神岡茂住鉱山の銅鉱について. 鉱山地質, **23**, 99-110.
- 大橋正健 (2001) 神岡 20m レーザー干渉計. 天文月報, **94**, 464-471.
- 大久保修平 (2001) ハイブリッド重力観測で追う, 地震・火山活動—2000年三宅島火山活動と伊豆諸島群発地震活動. 地震ジャーナル, **31**, 47-58.
- 大久保修平 (2005) 重力変化から火山活動を探る—観測・理論・解析. 火山, **50**, S49-S58.
- 大槻義彦 (1988) 第五の力. 日本放送出版協会, 東京, 194p.
- 瀬川爾朗 (1994) 超伝導重力計大国日本. 現代測地学, 日本測地学会, 茨城, 96-101.
- 司馬遼太郎 (1990) 街道をゆく 29 秋田県散歩, 飛騨紀行. 朝日新聞出版, 東京, 345p.
- 相馬宣和・杉原光彦・石戸経士・名和一成・西祐司 (2014) CO₂ 地中貯留のための多面的モニタリング技術の検討. GSJ 地質ニュース, **3**, 137-142.
- 杉原光彦 (2010) 絶対重力計測の現場から. 地質ニュース, no. 665, 53-62.
- 杉原光彦 (2015) テキサス州ファンズワースでの重力計

- 測の手記. GSJ 地質ニュース, 4, 251-258.
- Sugihara, M. and Ishido, T. (2008) Geothermal reservoir monitoring with a combination of absolute and relative gravimetry. *Geophysics*, 73, WA37-WA47.
- 杉原光彦・名和一成・相馬宣和・石戸経士・西 祐司 (2014) テキサス州ファーンズワース CO₂ 地中貯留調査サイトでの超伝導重力計の導入. GSJ 地質ニュース, 3, 129-132.
- 杉本大一郎・浜田隆士 (1975) 宇宙地球科学. 東京大学出版会, 東京, 236p.
- 田中雅臣 (2015) 星が「死ぬ」とはどういうことか. ペレ出版, 東京, 202p.
- 辻 篤子 (2015) 人の力を生かす環境を作るには. 化学と工業, 68, 電子版, <http://www.chemistry.or.jp/opinion/doc/ronsetsu1506.pdf> (2015年11月5日参照)
- 上田誠也 (1971) 新しい地球観. 岩波書店, 東京, 197p.
-
- SUGIHARA Mituhiko (2016) A field report of absolute gravity measurements with the FG5/217, Episode II Kamioka.
-
- (受付: 2015年11月9日)

野付半島ネイチャークラブ主催 “オンネニクルの森を歩こう” 実施報告

渡辺和明¹⁾・重野聖之²⁾・石渡一人³⁾・七山 太⁴⁾

1. 野付半島とは？

野付半島は知床半島と根室半島の間位置し、沿岸流により運ばれた砂礫が長年にわたって堆積して作られた全長約 28km の本邦最大の分岐砂嘴（バリアー）である（第 1 図）。また、この野付半島沖の根室海峡は水深が 10～30m と浅く、起伏が多く、潮流も速いことから、道東屈指の漁場となっている。また、バックバリアーである野付湾は幅広い潮流口を持ちアマモが繁茂する豊穡な内湾環境であり、ここで収穫される北海シマエビはブランド化している。

野付半島は 1962 年 12 月に野付風連道立自然公園に指定されている。半島の中央部にあるオンネニクルには樹齢数 100 年の森林が存在し、ここでは、今から 1000 年程前の擦文時代の竪穴式住居跡やアイヌ人によって築かれたチャシ跡が数多く発見されることが考古学的に知られている。なお、地元ではこの森をオンニクルとも呼ぶが、元々はアイヌ語で「年老いた林、大きい林」という意味をもつことから、本稿ではオンネニクルを使用した。また、この半島の沖では 4～2 万年前の最終氷期を示すマ

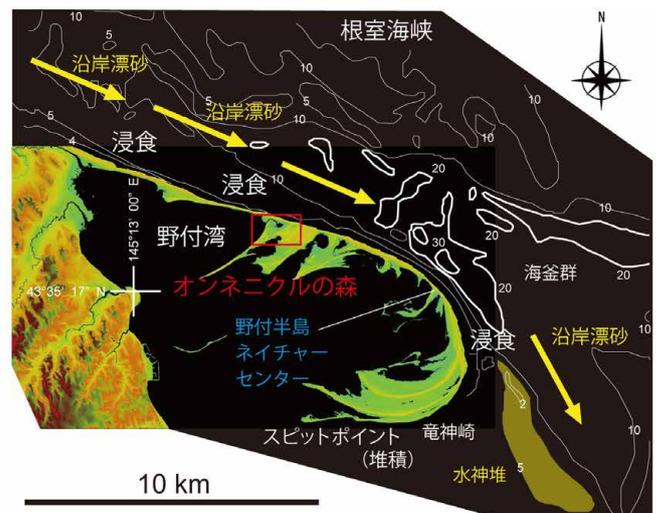
ンモスの白歯化石がしばしば漁網にかかって発見されていることが、古生物学的にはよく知られてきた（例えば、Takahashi *et al.*, 2006）。

一方、江戸時代中期から末期（幕末）にかけて、野付半島は船で国後島や千島列島に渡る際の中継地として繁栄した。北方警備の任にあたる会津藩の武士が駐在する通行屋も設けられていた（北海道別海町教育委員会, 2004）。かつて、茨城県出身の地理学者・探検家であった間宮林蔵は、この半島を経て国後島や択捉島に渡航したと想像される（渡辺ほか, 2015）。また、ここには江戸時代から明治の初期にかけて、「キラク」という街があったという言い伝えがある。武家屋敷が立ち並ぶ街の道は敷石で整備され、遊郭もあったらしい。しかし、古い地図や文献には「キラク」があったことを立証する明確な記述が無いことが不思議な感じがする。

2015 年 10 月 14～23 日に、今年度からの 3 ヶ年計画での実施が採択された科研費基盤研究「強制海退によって規定されたバリアースピットの堆積様式の解明」の予算で、野付半島の地形調査を 10 日間にわたって実施した。本稿においては、調査期間中の 18 日に、産総研の渡辺・七山、



第 1 図 野付半島の地形図、野付半島ネイチャーセンター及びオンネニクルの森の位置。基図には、国土地理院の提供する基盤地図情報（5m メッシュ DEM）を使用した。



1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報基盤センター
2) 明治コンサルタント (株) 本店
3) 別海町郷土資料館
4) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

キーワード：野付半島、オンネニクルの森、分岐砂嘴、別海町、標津町、北海道

野付半島ネイチャークラブ
観察会のお知らせ

秋のオンニクルの森を歩こう

石渡学芸員、七山先生と一緒に秋のオンニクルの森を歩き、縄文時代の生活跡を訪ね、歴史や地質のお話を伺います。秋の紅葉も美しい季節です。
(別海町郷土資料館ふるさと講座開催)
*オンニクルの森は一部国有林に指定され、許可なく入ることはできません。今回はセンターで許可を得て歩きます。

日時：10月18日（日） 10：00～14：00

講師：石渡一人 学芸員（別海町郷土資料館）
七山太 （産業技術総合研究所）

集合：野付半島ネイチャーセンター
2階 9：45

参加費：1000円（保険料）

持ち物：天候に応じた服装、長靴、昼食、
飲みもの、タオル、帽子など
(お昼を挟みます。現地では昼食となりますので
お弁当をお持ちください)



小雨決行・荒天中止
参加をご希望の方は10月14日（水）16：00までに
お申し込みください。

●お申込み・お問い合わせ●

野付半島ネイチャークラブ事務局（野付半島ネイチャーセンター内）
〒086-1645 北海道野付郡別海町野付63番地
TEL 0153-82-1270 FAX 0153-82-1296
E-mail notsukenc@aurens.or.jp

第2図 野付半島ネイチャークラブが案内したチラシ。

明治コンサルタント（株）の重野，別海町郷土資料館の石渡が共同で行ったジオツアー“オンニクルの森を歩こう”（第2図）の実施状況を報告する。

2. オンニクルの森ジオツアーの実施内容

ツアー当日は朝から快晴で，根室海峡を挟んで17.6 km先の国後島のケムライ崎の白い灯台がハッキリ見えた。参加者は予定通り，朝10時に野付半島ネイチャーセンターのエントランスに集合した。

最初に案内者側の自己紹介後，今回の科研費研究の目的と，野付半島の地形概説を七山が行った（第3図）。その後，オンニクル付近までネイチャーセンターの車に分乗して移動した。

ツアー最初のイベントサイトは，オンニクルの森近傍にあるナラワラ駐車場向かいの根室海峡側の海岸である。そこに向かう前に顔合わせを行い（第4図），移動後に前浜をシャベルで掘って，野付半島を形作る礫浜の構造を観察していただいた（第5図）。また，“礫浜の礫は何故お皿のように平べったいのか？”について解説を行った（第6図）。この地域では現在著しい海岸侵食が起こっており，



第3図 野付半島ネイチャーセンターでの七山（写真右から2番目）による分岐砂嘴地形の説明。



第4図 参加者の顔合わせ。後方がオンニクルの森。



第5図 礫浜の堆積構造及び海岸侵食の現状について説明する七山（写真一番左）。小判状の平たい礫が前浜を覆っている。

行政によって長年にわたって護岸工事が行われてきている（七山・石渡，2014）。この海岸から望む知床半島や国後島はたいへん美しいが，コンクリートのテトラポットで固められた現在の海岸線はとても美しいものとは言いがたい。“何故このような工事が必要なのか？これは誰のための工事なのか？守るべきものは何なのか？工事の費用は何処から出ているのか？”を参加者に問うて，少しだけ考えていただいた。

前浜からオンネニクルの森に移動する途中の後浜部分に特異な現象が見られた。今秋の10月8日の台風23号の波浪によって，この地域も最大瞬間風速35 m/sに達し，波高7～8 mの波が襲い，波浪が収まったあとも，道路に堆砂して通行できなくなったそうである。この後浜部分がテトラポットの無い場所にあたったため，その大きな波浪の影響により，舌状の形状を持つ50cmの層厚の砂礫体（ウオッシュオーバー堆積物）が観察できた。ここで重野は，津波堆積物と台風の越波によって生じたウオッシュオーバー堆積物の堆積構造や分布規模の違いについてわかりやすく解説した（第7図）。

次にオンネニクルの森の樹林帯に入る手前の湿地帯にて，検土杖による掘削を参加者に経験していただき（第8及び9図），ただ一人参加した子供も奮闘した（第10図）。

樹林帯に入ってから，石渡の案内で内径17mの円形のイドチ岬チャシ跡（アイヌ文化期に作られたもので，聖域，送場，砦跡・見張り場などの説がある），野付1.2遺跡（擦文時代の竪穴式住居跡）を見学した（第11及び12図）。この途中の2地点において，検土杖を使用して（第13及び14図）江戸時代に噴火した道南の樽前火山（1739年）起源や駒ヶ岳火山（1694年）起源等の火山灰



第7図 10月8日の台風23号の越波によって生じたウオッシュオーバー堆積物の上に立って説明する重野（写真左から3番目）。



第8図 検土杖による掘削の手本を見せる野付半島ネイチャークラブの佐々木会長。



第6図 小判状の平たい礫を手に取り説明する七山（写真右から2番目）。



第9図 検土杖で掘削した柱状試料の見方について説明する七山。



第10図 ただ一人参加した子供も奮闘していた。



第13図 検土杖による掘削講習。



第11図 アイヌ人によって築かれた円形の壕を持つチャシ跡（左手前の2人は壕の中に立っている）。



第14図 重野による掘削講習。土壌の下に簡単に火山灰層と海浜礫が発見できることに驚く参加者たち。



第12図 擦文時代の竪穴式住居跡。



第15図 自己紹介とジオツアーの感想を述べる参加者。

を観察した。また、オンネニクルの森の地盤に海浜礫の存在を確認してもらった。

昼食時に、参加者の自己紹介とジオツアーの感想を簡単に述べていただいた（第15図）。

参加者は、男子18名、女子8名であり、うち4名が案内者であった。地元の別海町・中標津町・標津町から17名、根室市・札幌市から7名、道外（つくば市）から2名であった。この中には、平素野付半島を案内されている3名のネイチャーガイドが含まれていた。野付中学校と別海中央中学の先生方2名も参加されていた。我々としては、今回のジオツアーに参加すべく遠路はるばる北海道大学の学生4名が札幌から乗用車で駆けつけてくれて嬉しく思った。

以下、重野が聞き取ったメモ書きから私たちの記憶に残った感想は、以下の通りである。

- 地元の遺跡や地質など身近な資料を教材とした授業に役立てたい。
- 竪穴式住居を発掘で掘ってみたい。
- 来春には就職で北海道を離れてしまうのは残念。もっと北海道を知りたい。
- 検土杖の穴掘りは楽しかった。
- 新聞を見て参加しました。自然な山の中を歩くことができてうれしい。
- 普段道路から見ている森について、逆に森から道路を見ることができた。
- 野付半島の歴史や魅力を再認識できた。



第16図 オンネニクルの森付近の道路沿いある漁師の掘った網洗い用池の畔の露頭を観察する。現在、年1.5cmで急速に沈降するこの地において、標高3mに位置するこの露頭に、何故古い海浜礫があるのだろうか？

- 数十センチの泥炭が1000年以上の時代を蓄えているのに驚いた。
- 普段入れない地域に入れてよかった。

オンネニクルの森は国有林なので、無許可で立ち入ることができないためか、遺跡・地形・地質の見学のほか、枯れ木の景観などを見ながら程よい距離を歩くことから、総じて大変好評であった。

昼食後、道路脇に露出した露頭を観察し、オンネニクルの森は1000年以上の間、沈水した形跡が無いことを自身の目で確認していただいた（第16図）。特に江戸時代の火山灰の下には30cm以上の厚さの土壌が存在し、最下位に現在の海岸で見たものと同じ海浜礫が露出していた。“オンネニクルの地盤は、検土杖で掘ってみても堅く古そうに見える”。“年1.5cmの速さで沈降しているのに、何故オンネニクルの森は水没して浸食されなかったのか？”などこの地域の成り立ちについて核心に迫るような質問が参加者からささやかれていたが、私たちは“これに関する答えは来年あらためて明らかにする・・・”とだけ答え、その場を後にした。

3. オプションツアー

ツアー終了後に野付半島ネイチャーセンターに戻り、14時過ぎに解散後、時間の許す希望者に、ネイチャーセンターから荒涼とした景観のトドワラまで向かう馬車道付近にて、検土杖掘削と各地層の高さ方向の水準を決定する



第17図 ファーストスタティックGPS測量による高精度標高測定の方法について説明する渡辺（写真一番左）。

ためのファーストスタティック GPS 測量による高精度標高測定について、渡辺が中心となって実演して見せた（第 17 図）。

ここでは江戸時代の火山灰の下に層厚 1 cm ほどの土壌を挟んで海浜礫が存在していた。検土杖による簡単な掘削調査の実演で、“ネイチャーセンターの地盤の礫はオンネニクル地域よりも締まりが無く新しそうに見える”など、分岐砂嘴の段階的な成長過程を容易に理解してもらえたと思う。ただ、この砂嘴の段階的な成長が何に起因するのかは誌面の都合もあって詳しく触れないが、この地域で問題視されている海岸侵食以上の自然現象問題、即ち地殻変動の影響が考えられるとだけ申し添えさせていただくことにしたい。

4. まとめ—参加者の感想を踏まえて

ジオツアー終了後、22 名の参加者から、簡単な感想文を書いていただいた。

- ・勉強になると思う。今後に期待したい。学芸員さん、七山先生他諸先生たちの研究成果の発表が楽しみ～野付半島をよろしく。
- ・野付半島に残るアイヌの遺跡だけでなく、半島の成り立ちについて実際に土壌を見ながら解説していただいたのは、とても面白かったです。
- ・ナラワラが生えている所を歩くことができ、貴重な体験だった。地層を見ることで具体的に歴史を考えることができ良かったです。
- ・野付半島の地形がどの様にして作られたか知ることが出来て、勉強になりました。今後どのような地形になっていくのか興味を持ちました。
- ・チャシ、地層の話も面白かった。あと、森の中のナラの大木も見られて良かったです。ありがとうございました。
- ・遺跡の説明に加えて、野付半島の地質的な成り立ちも分かったので、とても参考になりました。学校の授業に役立てたいと思います。ありがとうございました。
- ・地層を掘った土の年代がわかり、話を聞いてワクワクして聞いていました。このような研究をされている人の話を聞いて充実した 1 日になりました。お疲れ様でした。
- ・思いがけず地層等の話を専門家の方から聞いて、大変勉強になりました。自然・地質・歴史それぞれ専門家の方に集まっていたら野付半島についてのサイエ

ンスカフェのような座談会ができたらいいですね。今日は本当にありがとうございました。

以上のコメントを総括するならば、概ね参加者にはご満足いただけたと私たちは考えている。来年度以降も、別海町や標津町民対応のジオツアーや講演会を、アウトリーチ活動の一環として時間の許す限りお引き受けしたいと考えている。既に標津町からは、打診をいただいている。また、これとは別に、北海道もしくは道東の小中高校の理科教員を集めて、根室半島のガツカラ浜の津波痕跡、春国岱しゅんくにたいのバリアーアイランドはしりこたん、走古丹はしりこたんのバリアースピットおだいとう、尾岱沼の最終氷期堆積物、野付半島のバリアースピットを 1 泊 2 日で見て歩くようなジオツアーの企画も考えている。

今回のジオツアーは、野付半島ネイチャークラブならびに別海町郷土資料館によって主催された。実施にあたり野付半島ネイチャークラブの佐々木紀嘉会長、野付半島ネイチャーセンターの上月昭彦センター長ならびに竹田英司氏には、お世話いただいた。関係者一同、心から感謝する次第である。

文 献

- 北海道別海町教育委員会（2004）野付通行屋跡遺跡 1. 平成 15 年度 自然崩壊に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書, 80p.
- 七山 太・石渡一人（2014）野付半島トドワラ付近で認められる地盤沈下に伴う急激な海進現象. GSJ 地質ニュース, 3, 325-326.
- Takahashi, K., Soeda, Y., Izuhō, M., Yamada, G., Akamatsu, M. and Chang, C.H. (2006) The chronological record of the woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) in Japan, and its temporary replacement by *Palaeoloxodon naumanni* during MIS 3 in Hokkaido (northern Japan). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 233, 1-10.
- 渡辺和明・吉川秀樹・七山 太（2015）茨城県出身の測量士ならびに探検家であった間宮林蔵の地理学的偉業に関する私的考察. GSJ 地質ニュース, 4, 259-266.

WATANABE Kazuaki, SHIGENO Kiyoyuki, ISHIWATA Kazuto and NANAYAMA Futoshi (2016) An implementation report "Let's walk through the On'nenikuru forest" hosted by Notsuke Peninsula Nature Center.

(受付:2015年11月10日)

2015 年産総研一般公開チャレンジコーナー 「地盤の揺れるようすを目の前で見よう！」

内出崇彦¹⁾・武田直人¹⁾・長 郁夫²⁾・松原正樹^{3) 4)}・今西和俊¹⁾・白濱吉起¹⁾・落 唯史¹⁾・木口 努¹⁾

1. はじめに

2015 年度の産総研つくばセンターの一般公開は 2015 年 7 月 18 日に開催されました。われわれは今回、来場者の皆様に地震の揺れに親しんでもらうことを目指して、「地盤の揺れるようすを目の前で見よう！」と題した展示を行いました。本展示は、地盤モデルによる揺れ実験、地震計の前で飛び跳ねたときの震度を測る実験、観測された地震波形データを音と映像にして体験してもらうコーナーの 3 つで構成されており、第七事業所本館と地質標本館の間にある芝生で実施しました。

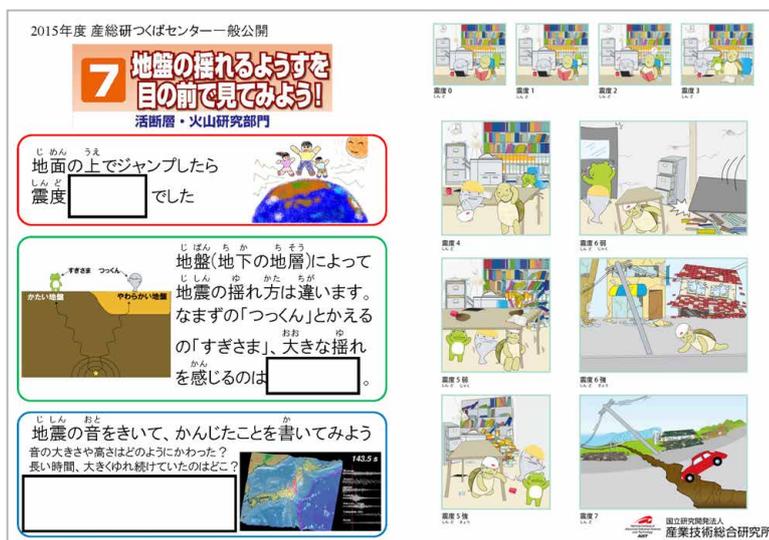
来場者が各コーナーで体験したことを書き留めて、お土産として持って帰っていただくためにプリント（第 1 図）を準備しました。今回はジオドクトル（例えば、宮川ほか、

2014）が実施されなかったので、地震に関連する「断層はどっちに動く？ 模型で実験しよう！」（担当：朝比奈大輔氏）と「地震の起きるようすを目の前で見よう！」（担当：高橋美紀氏）と共同で、これらの展示を関連付ける図（第 2 図）を独自に作成し、各展示で配布するプリントに掲載しました。

当日は雨が心配されて、小雨が降る時間もありましたが、概ね曇りで暑すぎず、夏にしては比較的過ごしやすかったです。

2. 地盤モデルによる揺れ実験

この実験では、それぞれ木の板とスポンジでできた硬軟の地盤モデルの上に家を模した地震計を載せたものを展示



第 1 図 一般公開当日に配布したプリント。来場者には飛び跳ねたときの震度や地盤の揺れについてのクイズの答え、地震可聴化音を聴いた際の感想を書いてもらいました。右には震度の目安を示したイラストを例年通り掲載しました。



第 2 図 一般公開当日に配布したプリントの裏面。地震に関する 3 つの展示を関連付ける図を作成しました。この図は各展示で配布するプリントで共通して使用しました。

1) 産総研 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

3) 筑波大学図書館情報メディア系 〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

4) 筑波大学知的コミュニティ基盤研究センター 〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

キーワード：一般公開、震度、地震計、地盤、地震動、実験、可聴化、可視化

しました（第3図）。来場者の方にはこれを揺らしてもらい、地盤によって揺れがどのように異なるかということ、地震計そのものの揺れと地震計の記録から体験してもらいました。このモデルはこれまでの産総研一般公開（長ほか，2013；武田ほか，2014）や地質情報展（今西ほか，2013；内出ほか，2013）でも活躍してきました。

今回改善したところが2点ありました。ひとつは、手回しで動作する振動台を導入したことです。これによって、誰が操作しても同じような揺れを発生できるようになりました。もう1点は、モデルを設置する机を、作りのしっかりとしたものに替えたということです。これまでは脚が細く揺れやすい会議室用の机を使うことが多かったのですが、これを手で揺らすと、机の固有周期で揺れてしまい、それが地盤による揺れの違いを見づらくしてしまったこともありました。揺らし方を一定にし、机の揺れの問題も解決したことで、本モデルの主張をより明確に伝えることができるようになりました。

前述の改善によって、来場者の方々にも納得していただきやすくなりました。また、振動台のハンドルを回す楽しみもあり、お子さんを中心に楽しんでいただきました。中には、振動台の仕組みに興味を持った方もおり、様々な面で好評を博しました。このモデルは展示場所の一番前に配置していたため、来場者の方に本展示への興味を引くことにも一役買いました。

3. 地震計の前で飛び跳ねたときの震度を測る実験

この実験は、地面に設置した地震計の前で来場者の方に



第3図 地盤モデルによる揺れ実験の風景。木の板でできた硬い地盤（黒）とスポンジでできた柔らかい地盤（黄）を手回し振動台で揺らしているところです。各地盤の上には地震計が載っており、その記録がモニタに表示されます。

ジャンプしてもらい、そのときの揺れの大きさを見てもらうというものでした。地面に置いた地震計からの信号は収録装置を経てパソコンに入り、直ちに震度を計算して、地震波形と共にディスプレイに表示します。こちらも最近の産総研一般公開でも展示しているものです（長ほか，2013；武田ほか，2014）。

第4図に当日の様子を示します。子供を中心とする来場者の皆さんは、より大きな震度を出そうと、懸命に飛び跳ねていました。しかし、大きくても震度2までしか出ず、苦戦をされていたようでした。震度は周期の長い揺れの大きさを使って計算されるため、一度だけ飛び跳ねるよりも、継続的に飛び跳ねる方が大きくなりやすい傾向があります。この説明を受けて、何度も飛び跳ね続ける子供がたくさんいました。

4. 観測された地震波形データを音と映像にして体験してもらうコーナー

実際の地震の揺れを感じてもらうために、2011年東北地方太平洋沖地震の際に記録された地震波形を音と映像に変換したもの（Matsubara and Uchide, 2015）を鑑賞してもらいました。これは、出前講座（内出，2015）で出展したことはありましたが、一般公開では初めての出展です。なお、データを映像に変換して目で見える形にすることを「可視化」と呼びますが、データを音にして聴こえるようにすることは「可聴化」と呼びます。

音は空気を伝わる波で、地震波は地中を伝わる波ですので、地震計で記録されたデータ通りにスピーカーを振動さ



第4図 地震計の前で飛び跳ねたときの震度を測る実験の様子。ビニール袋に包まれた地震計で計測された地震波形と震度がモニタに表示されるようになっています。

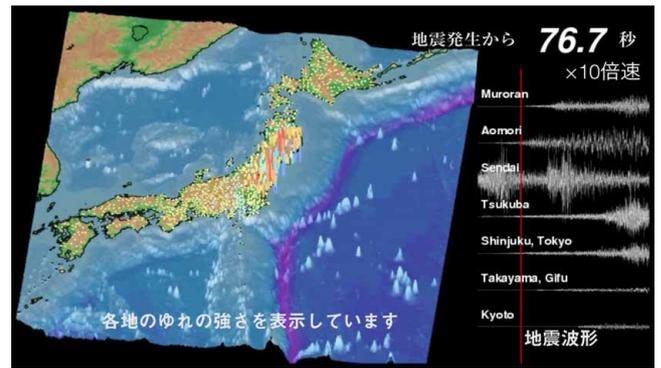
せれば簡単に音に変換できるように思えます。しかし、地震計で記録される地震波は振動数が低すぎて、人間の耳では聞こえません。そこで、再生速度を上げて振動数を上げたり、地震波データの特徴に応じて音を割り当てたりするといった工夫が必要になります。

今回は、国立研究開発法人 防災科学技術研究所の全国強震観測網（K-NET）の100観測点以上で記録された地震波データを一度に可聴化しました。さらにわかりやすくするために、これに可視化映像と解説をつけた動画を作成しました。なお、可視化には基盤強震観測網（KiK-net）の地表観測点のデータも使用しました。これによって、地震波が伝播する広がりを感じてもらおうことを目指しました。地震の可聴化は怖い音になりがちなので、水の泡のような柔らかい音に変換しました。当日の展示の様子を第5図、可視化動画のスナップショットを第6図にそれぞれ示します。可聴化音はスピーカーを使って流したほか、ヘッドフォンでも聴くことができるようにしました。

展示の際にはこの動画を繰り返し流したため、来場者の注意を引くことができました。初めは、何かすごそうな音がするといった漠然とした感想を持つ方が多かったです。いろいろな音や映像を前にして、何に注目して視聴したらいいかわからなかったり、感じたことを言葉にするのが難しかったりしたのかもしれませんが、そこで、「初めは大きく高い音が鳴り、徐々に小さく低い音に移行することで地震波の広がりが感じられる」、「関東平野などの平野が長い時間揺れることが動画から読み取れる」といった解説を加えて、見どころと聴きどころを絞って視聴していただきました。すると、音と映像からいろいろなことがわかってい



第5図 観測された地震波形データを音と映像にして体験してもらうコーナーの様子。来場者にモニタの両側のスピーカーやヘッドフォンで地震波形の可聴化音を聴きながら可視化動画を見ていただいているところです。開けた場所でしたが音はよく聞き取ることができました。



第6図 強震記録の可視化動画のスナップショット。右上に地震発生からの経過時間を示しています。動画は実際の時間の流れの10倍の速さで流しています。左の地図上の棒グラフは上下方向の地動速度（赤色が上方、青色が下方）を示しています。右には各地の観測波形を表示しています。カラーはウェブ版参照。

ただで、面白いと感じていただけたようでした。可聴化音では、岐阜県飛騨地方での動的誘発地震を聴きとることができるのですが、それに気づかれた来場者の方もいらっしゃいました。

5. 結びに

本展示は多数の来場者に恵まれて、概ね成功を収めたと言えると思います。こうした展示を通じて、より多くの方に地震の揺れに親しんでいただき、地震防災に思いを致すきっかけとなれば幸甚です。

謝辞

本展示の一部で国立研究開発法人 防災科学技術研究所の全国強震観測網（K-NET）と基盤強震観測網（KiK-net）の観測波形を使用しました。

文 献

長 郁夫・武田直人・今西和俊・内出崇彦・桑原保人・黒坂朗子・落 唯史・高橋 誠（2013）2013年産総研一般公開・チャレンジコーナー「地盤の揺れる様子を目の前で見よう！」～展示後の雑感～. GSJ 地質ニュース, 2, 335-336.

今西和俊・吉見雅行・長 郁夫・行谷佑一（2013）地質情報展2012 おおさか 体験コーナー ―地盤の違いによる地震の揺れ実験―. GSJ 地質ニュース, 2, 140-141.

Matsubara, M. and Uchide, T. (2015) Interactive

multiple seismic waves sonification for data exploration. International Workshop on Time-series Data Sonification, *Tsukuba Global Science Week 2015*, p. 322.

宮川歩夢・堀口桂香・朝比奈大輔・住田達哉・勝部垂矢・高橋美江・竹内圭史・古川竜太・佐藤隆司・今西和俊・大坪 誠・内田洋平・西来邦章 (2014) 産総研一般公開・チャレンジコーナー「ジオドクトル2014」実施報告. GSJ 地質ニュース, 3, 381-383.

武田直人・今西和俊・内出崇彦・木口 努 (2014) 産総研一般公開・チャレンジコーナー「地盤の揺れるようすを目の前で見よう!」。GSJ 地質ニュース, 3, 378-380.

内出崇彦 (2015) つくば市立谷田部中学校での出前講座. IEVG ニュースレター, 1, no. 6, 16.

内出崇彦・今西和俊・武田直人・長 郁夫・栗田泰夫 (2013) 地質情報展2013 みやぎ 体験コーナー「地盤の違いによる地震の揺れ実験」。GSJ 地質ニュース, 3, 12-13.

UCHIDE Takahiko, TAKEDA Naoto, CHO Ikuo, MATSUBARA Masaki, IMANISHI Kazutoshi, SHIRAHAMA Yoshiki, OCHI Tadafumi and KIGUCHI Tsutomu (2016) A challenge corner entitled "Let's take a firsthand look at an appearance of ground shaking!" in the AIST Tsukuba open house 2015.

(受付:2015年11月16日)

時を刻む湖

7万枚の地層に挑んだ科学者たち

(岩波科学ライブラリー 242)

中川 毅 [著]

岩波書店

発売日：2015年9月9日

定価：1,200円＋税

ISBN：978-4-00-029642-7

B6判 (13.1 x 18.3 x 1.0 cm)

128ページ、普及書、ソフトカバー

我々産総研・地質調査総合センターの業務の一つとして、正確な地質年代の測定と評価という項目がある。一般に、数千万年～数億年の古い地層や岩石の年代測定には、K-Ar年代法やU-Pb年代法という手法が用いられる。一方、数千年から数万年という後期更新世～完新世の年代測定に用いられるのは、炭素の放射性同位体、炭素14 (^{14}C)年代法である。 ^{14}C 年代法の原理は、1960年にノーベル化学賞を受賞したシカゴ大学のウィラード・リビー教授が、原子力爆弾の心臓部である ^{235}U を濃集させるために確立した手法であることを知る人は少ないことであろう。 ^{14}C 年代は、BP (Before Present もしくは Before Physics) で表記されるが、これは大気圏内の核実験による放射線の影響を受けていない1950年を起点として、その何年前と表記される。生物は生存中に大気中の炭素を取り込むが、死後はこれが自然崩壊していく。 ^{14}C の半減期は5730年なので、これを用いて、最新の加速器分析(AMS)法を用いれば、5万年前までの年代測定が微量な試料で可能なのである。ちなみに最近の5万年間は、人類がアフリカを旅立ち全世界に分散していく時代に相当する。しかし厳密には、大気中の ^{14}C の生成量は地球磁場や太陽活動の変動の影響を受けるため年オーダーで変化しており、しかも北半球と南半球では大気中の濃度が有意に異なる。ゆえに、 ^{14}C の値は、このままでは正しい年代を示さないことは従来より分かっていたし、このため、キャリブレーション(校正)するための世界標準の換算表(キャリブレーションデータ)が必要とされていた。

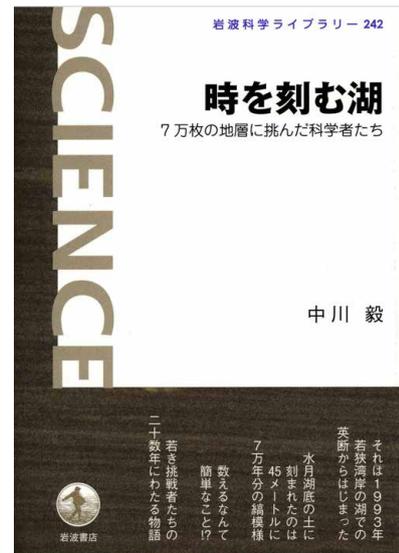
これを最初に提唱したのはアメリカワシントン州立大学のミンツ・スタイバー教授であり、彼はこれをIntCalと名付けた。当初は、誤差の無い樹木の年輪を用いて、校正すれば正確な値(暦年)に変換できた。ただし、この方法

にも限界がある。現在最古の年輪記録はアルプス山麓の埋もれ木なのだが、この限界が最終氷河期後の12550年なのだ。それ以前を知るためにサンゴや鍾乳石なども用いられたが、これらは誤差を含んだU-Th年代値と比較するため決定打とはならず、次に登場したのが年縞(varve)なのである。

著者の中川毅氏は、京都大学理学部ご出身で、フランスのエク・マルセイユ第三大学で学位を得られた。その後、イギリスのニューカッスル大学で教授まで昇進した後、昨年新設された立命館大学古気候学研究所長として凱旋帰国された。専門は花粉分析手法を用いた第四紀古気候学であり、この分野では世界のトップサイエンティストの一人に挙げられる。以前、私がこの誌面で紹介した「一万年前一気候大変動による食糧革命、そして文明誕生へ」の著者である立命館大学環太平洋文明研究センターの安田喜憲先生は、国際日本文化研究センター(日文研)時代の恩師であるそうだ。

本書の冒頭は、2012年10月18日に東京で行われた米国科学振興協会(AAAS)主催の中川毅氏の記者会見の会場の描写から始まる。翌日発行のサイエンス誌に掲載される論文のプレス発表の場であり、朝日新聞には「福井の湖 考古学の標準時に 過去5万年 誤差は170年」と大きく見出しに書かれた。この湖こそが水月湖であり、中川氏が率いた国際チームが協力して、世界一精密な5万年もの時間を測る時計をここで見出したのが論旨であった。その後、「レイク・スイゲツ」は突如世界的に有名になったことは言うまでもない。かなり派手な出だしであるが、ここに至るまでの道は遠く険しく、しかも地味な作業の繰り返しであった。

福井県の若狭湾近くに、三方五湖という風光明媚な観光





スポットがある。その中の一つが水月湖という海跡湖である。周囲長は 10km ほど、最大水深 34m の汽水湖である。水月湖には流入する大きな河川がなく、洪水や土石流の影響も少ない。水深 30m 以上と深いので風波による攪乱が生じにくく、連続的な細粒堆積物の堆積が期待できる。もう一点は、水月湖は隣接する活断層、三方断層の影響によって、湖底の沈降速度が堆積速度を絶妙なバランスで上回るという場の条件である。これらが、水月湖が“奇跡の湖”と呼ばれる所以である。

1993 年に、堆積物から過去の環境変化を模索していた環境考古学の提唱者安田先生の提案で湖底ボーリングを行ったところ、長さ 75m に達する 7 万年分のコア試料が回収され、ほぼ全層準に美しい年縞が見られた。年縞は季節による堆積物の違いによって生じ、日本のような四季のある中緯度地域での報告はたいへん珍しかった。この後、1998 年に日文研の北川浩之氏（現名古屋大学教授）が 5 年の際月をかけて 45000 年分の年縞を数え上げ、同時に多数の ^{14}C 年代を出しデータセットとして、サイエンス誌上に報告した、しかし、これが世界標準の換算表 (IntCal-98) としては採用されないという残念な結果に終わる。この時現れたライバル研究者がアメリカコロラド大学のコンラッド・ヒューエン博士であり、彼が行った南米ベネズエラ沿岸のカリアコ海盆で採取された年縞堆積物がこの時点での究極のデータセットとして採用されたのである。しかし、この当時から既に、このデータセットには海水由来の炭素同位体特有の不確かさ（リザバー問題）がつかまとうことも分かっていた。この点では、水月湖の方が陸上の ^{14}C 年代を扱っており、素性が良いのである。

ここから本書に描かれる中川氏のリベンジが始まる。中川氏が、北川氏のデータセットが不採用となった原因を追求し、その為の改善手段を考える。そして、日本国内ではなく、年縞研究の歴史のあるイギリス・アベリストウイス大学のヘンリー・ラム博士とドイツのポツダム地質学研究所のアヒム・ブラウアー博士に共同研究をもちかけた。そしてイギリスの奨学金を得ていよいよ水月湖プロジェクトが開始される。ドイツ人のゴードン・シュロラウトとイギリスのマイケル・マーシャルという二人の優秀な大学院生がそれぞれ別々の手法で黙々と分析を続け、2011 年ついに 5 万年分の年縞年代と ^{14}C 年代のデータセットが完成したのであった。その精度は 5 万年前で誤差 170 年という。そして冒頭の記者会見の記述へと結びつくのである。2013 年 9 月 23 日に新しい標準換算表 (IntCal-13) が、Radiocarbon 誌の IntCal-13 特集号として誌上発表され、

めでたく「福井県の湖が地質時代のグリニッジ天文台になった」のであった。

国際深海掘削計画等で 3 度にわたり外国人研究者と共同研究してきた私からみて、著者が率いた研究チームは、日本人だけではなく、イギリス、ドイツとの国際チームであったところが実に素晴らしいと思える。世界に名だたる研究者やヨーロッパの大学院生を統率できる中川氏のコミュニケーション能力の高さは驚異的とも思える。また、彼らは、全コアの縞を数え上げるまでに完成度を高め、その間に一本の論文も出さなかったことも研究者の姿勢として素晴らしく思える。ただし、この研究プロジェクトにおいて、イギリス人のリチャードやドイツ人のマイケルは躍動するのだが、残念ながら日本人の大学院生や若手研究者の名前が全く出てこないのは、私的にはいささか残念に思えた。

本書は、日本人が主導した地道な基礎研究が最後の最後に実を結び脚光を浴びたという、研究サクセスストーリーといえる。わずか 122 ページの単行本であるが、内容や話の展開は実に面白い。中川氏が本書で書かれていることは、単なるサイエンスの解説だけではなく、真実と向き合う研究者の真摯な生き様である。特に、研究ライバルとして描かれているコンラッド・ヒューエン博士やクリストファー・ラムジー教授ら世界に名だたる共同研究者諸賢の中川氏等への対応も、読者に共感を与えるものであろう。

また、本文中には著者の科学に対する深い造詣が言葉の端々に滲み出ており、文章も研究者の書く堅い論文的な表現ではなく、やや文学的で優雅さがある。ゆえに、ある程度第四紀学に関する知識や関心のある方にとっては、たいへん読み応えのある文章と言えらる。是非、今後の日本の地球科学分野を背負って立つ大学院生や若手研究者に読んでもらいたい一冊である。特に、“研究とはどのようなプロセスやモチベーションで行うべきものなのか？研究資金の得方は？共同研究者やアドバイザーの選び方？”を学ぶことができる教科書的な内容とも言えよう。ただし、一般普及書としては、“年縞”に始まる数多くの専門用語の羅列が目立ち、初学のものでは文意が読み取りにくいことが危惧される。おそらく中高生でも理解できるレベルの解説的な記述や分かりやすい図面を追記する必要があるのだと思う。中川氏の今後の益々の研究の発展を願うのと同時に、本書の続編や改訂版を期待したい。

(産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門 七山 太)

☆地質図・地球科学図新刊案内

<https://www.gsj.jp/Map/JP/newmaps.html>

- ・5万分の1地質図幅10 [金沢]-68「冠山」
(福井県・滋賀県・岐阜県)
- ・5万分の1地質図幅7 [新潟]-34「川俣」(福島県)
- ・20万分の1地質図幅「大分(第2版)」
(大分県・宮崎県・熊本県)
- ・20万分の1地質図幅「横須賀(第2版)」
(神奈川県・静岡県・千葉県・東京都)
- ・火山地質図No.18「蔵王火山地質図」(山形県・宮城県)
- ・火山地質図No.19「九重火山地質図」(大分県)
- ・空中磁気図No.46「養老断層地域高分解能空中磁気異常図」
(岐阜県・滋賀県・愛知県)
- ・重力図(ブーゲー異常)No.31「京都地域重力図」
(京都府・大阪府・兵庫県・奈良県・滋賀県・福井県)
- ・海洋地質図 No.85 沖縄島北部周辺海域海洋地質図
- ・海洋地質図 No.86 室蘭沖表層堆積図
- ・海陸シームレス地質図S-4 海陸シームレス地質情報集
「石狩低地帯南部沿岸域」
- ・燃料資源図3「関東地方」
- ・水文環境図8「石狩平野(札幌)」
- ・土壌評価図6「茨城県地域」

☆活断層・火山研究部門(隔月刊)

IEVG ニュースレター (2015年12月号)

https://unit.aist.go.jp/ievg/katsudo/ievg_news/index.html

目次

1. 構造物と家具の地震応答解析 -力学に基づくシミュレーションの一事例- / 竿本英貴
2. 海底火山の発達史とマグマ進化過程に関する研究 / 草野有紀
3. 新規採用職員紹介 / 野口里奈
4. 2015年10-11月外部委員会

☆地圏資源環境研究部門(年4回刊行)

GREEN NEWS 50号(2015年10月号)

http://green.aist.go.jp/ja/blog/category/product_jp/greennews_jp

目次

1. 巻頭言 研究をデザインすること / 丸井敦尚
2. 第14回研究成果報告会のお知らせ・強い技術シーズの創出と展開
3. 新研究グループ長あいさつ・グループ紹介 / 鈴木正哉
4. 2014 グラント報告
 - ・新規ヒ素除去材開発のための基礎的研究 / 杉田 創・張 銘・原 淳子・小熊輝美・柳澤教雄
 - ・SHRIMPによる局所マルチ同位体分析技術の開発 / 荒岡大輔・昆 慶明・江島輝美
 - ・自然由来重金属類汚染の要因解明に関する基礎的研究 / 川辺能成・坂本靖英・原 淳子・杉田 創・井本由香里・保高徹生・張 銘・須藤孝一(東北大学大学院環境科学研究科)・井上千弘(東北大学大学院環境科学研究科)
5. 参加報告
 - ・第5回石油システムにおける応用微生物学と分子生物学に関する国際シンポジウム / 坂田 将
 - ・ニアサーフェース アジア太平洋会議 / 神宮司元治
6. イベントカレンダー
7. 産総研一般公開への出展

☆広報部

産総研 LINK が産総研 TODAY の後継誌として7月に創刊されました。

http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_link/index.html

イベントカレンダー（学会・講演会等）

2016

1月23日 日本学術会議公開講演会
「強靱で安全・安心な都市を支える地質地盤の情報整備
—あなたの足元は大丈夫?—」

日本学術会議講堂（東京都千代田区）
<https://www.gsj.jp/event/2015fy-event/jsc20160123/index.html>

3月5日～
3月6日 日本堆積学会 2016年福岡大会
福岡大学（福岡市）

<http://sediment.jp/index.html>

4月17日～
4月22日 European Geosciences Union General Assembly 2016
Vienna, Austria

<http://egu2016.eu/home.html>
*Abstract deadline : 13 January 2016

5月22日～
5月26日 日本地球惑星科学連合大会
幕張メッセ（千葉市）

http://www.jpogu.org/meeting_2016/
*講演要旨早期メ切：2016年2月3日

5月23日～
5月25日 32nd IAS Meeting of Sedimentology
Marrakech, Morocco

<https://www.sedimentologists.org/ims2016>
*Abstract deadline : 1 February 2016

6月7日～
6月9日 石油技術協会
第81回定時総会・特別講演会および平成28年度春季講演会
秋田ビューホテル（秋田市）

<http://www.japt.org/>

6月26日～
7月1日 Goldschmidt 2016 in Yokohama, Japan
パシフィコ横浜（横浜市）

<http://goldschmidt.info/2016/index>
*Abstract submission open : 1 January 2016 - 26 February 2016
*Early discounted registration open : 1 January 2016 - 26 April 2016

訂正とお詫び

GSJ 地質ニュース 2015年9月号 (Vol.4 No.9) の掲載記事『「新治花崗岩」と新治台地に残る石造文化財；p.267-277』（長 秋雄著）において、誤記がありました。

p.275 左 31 行目 山田皓誌→山田 皓

p.277 右 9 行目 山田皓誌→山田 皓

訂正してお詫びします。

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 森 尻 理 恵
副委員長 下 川 浩 一
委員 丸 山 正
竹 田 幹 郎
杉 原 光 彦
中 嶋 健
七 山 太
小 松 原 純 子
伏 島 祐 一 郎

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第5巻 第1号
平成28年1月15日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

印刷所 前田印刷株式会社

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : Rie Morijiri
Deputy Chief Editor : Koichi Shimokawa
Editors : Tadashi Maruyama
Mikio Takeda
Mituhiko Sugihara
Takeshi Nakajima
Futoshi Nanayama
Junko Komatsubara
Yuichiro Fusejima

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 5 No. 1
Jan. 15, 2016

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan

Maeda Printing Co., Ltd

